

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение	Электроэнергетики и электротехники
Направление подготовки	Электроэнергетика и электротехника
Профиль	Электроприводы и системы управления электроприводов

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>«Разработка и исследование системы управления котлом пиролизного горения»</b>

УДК 621.181.2-66:681.518.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Ж	Михайлёв Алексей Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Шилин Александр Анатольевич	Д.Т.Н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Фигурко Аркадий Альбертович	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения контроля и диагностики	Амелькович Юлия Александровна	к.т.н., доцент		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель отделения	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дементьев Юрий Николаевич	PhD, к.т.н.		

Томск – 2018 г.

Введение .....	11
Определения, обозначения, сокращения .....	13
1. Обзор литературы.....	14
1.1. История создания и развития котлов .....	14
1.2. Принцип работы пиролизного котла .....	15
1.3. Конструкция газогенераторных (пиролизных) котлов .....	18
1.4. Достоинства и недостатки пиролизных котлов.....	21
1.5. Опыт отечественных исследователей .....	22
1.6. Опыт зарубежных исследователей .....	23
2. Объект и методы исследования.....	25
3. Разработка имитационной модели .....	27
3.1. Исходная модель теплообменной системы .....	27
3.2. Адаптированная модель теплообменной системы.....	30
3.3. Имитационная модель теплообменной системы.....	35
3.4. Получение упрощенной передаточной функции и синтез регулятора.....	44
4. Получение карты экспертных оценок и поверхности мощностей .....	52
5. Заключение .....	55
6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	56
6.1. Потенциальные потребители результатов исследования.....	56
6.2. Технология QuaD.....	57
6.3. SWOT-анализ .....	59
6.4. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований .....	62
6.5. Планирование научно-исследовательских работ .....	62
6.6. Определение трудоемкости выполнения работ.....	63
6.7. Разработка графика проведения научного исследования .....	64
6.8. Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	69
6.9. Затраты на специальное программное среду для научных работ.....	69
6.10. Основная заработная плата .....	70
6.11. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала.....	72
6.12. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	72
6.13. Накладные расходы .....	73
6.14. Амортизация .....	73
6.15. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	74
6.16. Оценка конкурентоспособности и ресурсоэффективности проекта.....	74
7. Социальная ответственность .....	77
7.1. Профессиональная социальная безопасность.....	78
7.1.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать алгоритм управления пиролизным котлом .....	78

7.1.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в помещении при проведении исследований.....	78
7.1.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов .....	83
7.2. Экологическая безопасность.....	86
7.2.1. Анализ влияния средств исследования на окружающую среду.....	86
7.2.2. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды .....	87
7.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	88
7.3.1. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.....	88
7.3.2. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС.....	90
7.3.3. Разработка порядка действия в случае возникновения ЧС .....	91
7.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	93
Список используемых источников.....	94
Приложение А .....	100

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**  
**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение	Электроэнергетики и электротехники
Направление подготовки	Электроэнергетика и электротехника
Профиль	Электроприводы и системы управления электроприводов

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель Отделения

\_\_\_\_\_  
(Подпись)                      (Дата)                      Дементьев Юрий Николаевич  
(Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5АМ6Ж	Михайлёву Алексею Сергеевичу

Тема работы:

**«Разработка и исследование системы управления котлом пиролизного горения»**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

07.02.2018 №795/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<b>Исходные данные к работе</b> <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	1. Принцип работы пиролизного котла 2. Исходная модель теплообменной системы
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	1. Принцип работы пиролизного котла 2. Достоинства и недостатки пиролизных котлов 3. Имитационная модель теплообменной системы с пиролизным котлом 4. Синтез системы управления котлом 5. Получение карты экспертных оценок
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Модель теплообменной системы с пиролизным котлом 2. Конструкция пиролизного котла 3. Структура технологической схемы теплообменной системы с пиролизным котлом

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Фигурко Аркадий Альбертович
Социальная ответственность	Амелькович Юлия Александровна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:</b>	
1. Введение	
3. Обзор литературы	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор отделения электроэнергетики и электротехники	Шилин Александр Анатольевич	Д.Т.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Ж	Михайлёв Алексей Сергеевич		

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение	Электроэнергетики и электротехники
Направление подготовки	Электроэнергетика и электротехника
Профиль	Электроприводы и системы управления электроприводов

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
**выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	___.___.2018
--	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
	Обзор литературы	
	Разработка имитационной модели	
	Получение карты экспертных оценок и поверхности мощностей	
	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
	Социальная ответственность	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор отделения электроэнергетики и электротехники	Шилин Александр Анатольевич	Д.Т.Н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дементьев Юрий Николаевич	PhD, к.т.н.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5АМ6Ж	Михайлёв Алексей Сергеевич

Школа	ИШЭ	Отделение/НОЦ	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Магистратура	Профиль	Электроприводы и системы управления электроприводов

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску, оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ
2. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	30 % премии 20 % надбавки 16% накладные расходы 30% районный коэффициент

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Анализ конкурентных технических решений. Оценки перспективности проекта по технологии QuaD.
2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Формирование плана и графика разработки: -определение структуры работ; -определение трудоемкости работ
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	-разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: -материальные затраты; -заработная плата (основная и дополнительная); -отчисления на социальные цели; -накладные расходы.

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Оценочная карта QUAD
3. Матрица SWOT
4. График Ганта
5. График проведения бюджет НТИ
6. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фигурко Аркадий Альбертович	К.Э.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Ж	Михайлёв Алексей Сергеевич		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5АМ6Ж	Михайлёву Алексею Сергеевичу

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение/НОЦ</b>	<b>Электроэнергетики и электротехники</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	Электроприводы и системы управления электроприводов

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Разработка математической модели пиролизного котла и алгоритма управления без датчиков газа в обратном дымоходе
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<b>1. Профессиональная социальная безопасность.</b> 1.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования 1.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований. 1.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов	Рассмотреть такие факторы как: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Повышенная влажность воздуха</li> <li>• Пониженная подвижность воздуха</li> <li>• Отсутствие или недостаток естественного света</li> <li>• Недостаточная освещенность рабочей зоны</li> <li>• Повышенная пульсация светового потока</li> <li>• Физические перегрузки (статические)</li> <li>• Нервно-психические перегрузки</li> <li>• Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека</li> </ul>
<b>2. Экологическая безопасность</b> 2.1. Анализ влияния средств исследования на окружающую среду 2.2. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.	Рассмотреть такие факторы как: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Влияние парниковых газов</li> <li>• Влияние пластиковых отходов</li> <li>• Влияние целлюлозных отходов</li> </ul>
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях</b> 3.1. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований. 3.2. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС 3.3. Разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Рассмотреть ЧС, которые могут возникнуть при исследовании</li> <li>• Анализ наиболее вероятной ЧС</li> <li>• Мероприятия и меры по ликвидации данной ЧС.</li> </ul>
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства и организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Амелькович Юлия Александровна	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5АМ6Ж	Михайлёв Алексей Сергеевич		



## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из: 109 листов, 21 рисунка, 62 источников, 1 приложения.

Ключевые слова: пиролиз, пиролизный котёл, система управления, имитационная модель, теплообменная система, оптимальное соотношение воздушных потоков, переходный процесс.

Работа представлена введением, 6 разделами и заключением, приведен список использованных источников.

В введении рассмотрена актуальность работы, приведена основанная проблема, представлена практическая значимость предложенного решения, приведена научная новизна работы, поставлены цели и задачи работы, кратко описаны объекты и методы исследования. Кратко описана идея косвенной оценки мощности по температуре.

В 1 разделе «Обзор литературы» рассмотрен принцип работы пиролизного котла, различные конструкции котлов, их достоинства и недостатки. Проанализирован опыт зарубежных и отечественных исследователей по исследуемой тематике, представлены их идеи и решения.

Во 2 разделе более подробно описаны объекты и методы исследования.

В 3 разделе «Разработка имитационной модели» на основании исходной модели теплообменной системы получена адаптированная модель теплообменной системы с пиролизным котлом в программной среде *MatLab Simulink*, которая была упрощена графическим методом до одной передаточной функции. Проведено сравнение упрощённой и полноценной моделей теплообменных систем. Получены переходные процессы температуры для разомкнутой системы. Синтезирован ПИД регулятор по методу Зиглера-Никольса и получены переходные процессы температуры для замкнутой системы. Сделаны выводы о том, что методология, которая применялась в разделе справедлива. Описана идея косвенной оценки мощности по температуре.

В 4 разделе «Получение карты экспертных оценок и поверхности мощностей» на основании экспертных оценок специалиста получена

математическая модель поверхности мощностей при различных воздушных потоках, которую в дальнейшем можно идентифицировать и подстраивать для реального объекта исследований.

В 5 разделе представлено заключение по проделанной работе.

В 6 разделе рассмотрены вопросы финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

В 7 разделе рассмотрены вопросы охраны труда, здоровья и безопасности.

## Введение

Пиролизный котёл – это одна из разновидностей твердотопливных котлов. В качестве топлива в котле используется недорогая древесина, а особая организация процесса горения позволяет получить несколько существенных преимуществ по сравнению с обычными твердотопливными котлами.

Актуальность работы обусловлена быстрым ростом цен на энергоносители (нефть, газ и электричество), а также стремительным ростом строительства домов и коттеджей, расположенных вдали от газовых магистралей.

Отопительная система с пиролизным котлом станет целесообразным решением для загородного дома, дачи, бани и особо полезна будет для деревообрабатывающих предприятий, промышленных помещений где имеется множество отходов древесины. В отдельных случаях в качестве топлива для котла можно использовать не только древесину, но и производственные отходы [1].

Основная проблема данного котла заключается в подборе соотношения потоков воздушных потоков на генерацию и дожигание пиролизных газов. Когда соотношение подобрано наиболее правильно, в дымоходе котла остается минимум пиролизных газов и кислорода, выдаваемая мощность при этом максимальна. В современных пиролизных котлах от этой проблемы ушли, поставив дорогостоящие газовые датчики в дымоходе [3].

Для удешевления системы можно отказаться от столь дорогостоящего решения и с помощью дешевых датчиков температуры косвенно получать значение выдаваемой мощности котлом. Регулируя, соотношение воздушных потоков в точке равновесного состояния, и наблюдая за мощностью, можно найти наиболее энергоэффективные точки работы пиролизного котла и разработать алгоритм управления.

Предложенное в работе решение практически значимо, так как позволит упростить систему управления пиролизными котлами и тем самым существенно снизить их стоимость, сделать в целом более доступными для населения.

Полученные результаты могут быть внедрены в сфере систем отопления и горячего водоснабжения.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- Предложено отказаться от датчиков газа в обратном дымоходе котла и заменить их датчиками температуры;
- Разработана модель теплообменной системы с пиролизным котлом;
- Установлено что применённая методология в упрощении модели второго порядка, подключении и настройке ПИД регулятора, работает для рассматриваемой системы;
- Получена математическая модель поверхности мощностей пиролизного котла.

Объектом исследования является система управления котлом пиролизного горения.

Предметом исследования является алгоритм управления горением без датчика газа в обратном дымоходе.

Цель работы – разработать и исследовать систему управления котлом пиролизного горения и получить оптимальные режимы работы пиролизного котла при различных изменениях нагрузки.

Задачами исследования является: знакомство с принципом работы пиролизного котла, разработка имитационной модели пиролизного котла, получение переходных процессов температуры, получение карты экспертных оценок, описание алгоритма работы, синтез регулятора.

По данной теме 25 апреля текущего года был представлен секционный доклад на Всероссийской научно-практической конференции под названием «Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири». Доклад был отмечен дипломом второй степени.

## **Определения, обозначения, сокращения**

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

Пиролиз — термическое разложение органических и многих неорганических соединений [6];

Пиролизный котёл — разновидность твердотопливного котла, в котором топливо (дрова) и выходящие из него (при недостатке кислорода) летучие вещества сгорают отдельно [7] ;

Воздушный поток – объем перекачанного воздуха в единицу времени, при полном отсутствии сопротивления потоку;

Теплообменник – устройство, в котором происходит обмен энергией между двумя средами, которые имеют разные температуры;

Накопительный бак – устройство которое служит для поддержки определенного давления в системе подачи воды;

ТОС – Теплообменная система.

# **1. Обзор литературы**

## **1.1. История создания и развития котлов**

Пиролизный котёл, он же котёл длительного горения, был изобретен относительно недавно, и для того что бы предстать перед нами в том виде котором мы его знаем ему понадобился не один десяток лет.

Первые системы отопления, с прародителями твердотопливных котлов – печами, были созданы ещё в Древнем Риме, для отопления нескольких домов использовались каналы, которые пролегали в полу и стенах, по этим каналам проходили отработанные газы от печей. Такой тип отопления получил название “Гипокаустовое” [8].

Через какое-то время на смену Гипокаустовому отоплению пришли камины. Часть тепла от горения топлива отдавалась в окружающую среду, то есть в помещение, при этом огромная часть тепла уходила в вытяжную трубу вместе с отработанными газами. Позже камины открытого типа трансформировались в камины закрытого типа [9].

Из-за недостатка древесины, в 1763 году Фридрих Великий модернизировал камины. Так появились “Берлинские печи” которые имеют несколько дымоходов. Использование такого дымохода в тандеме с углем позволило существенно повысить производительность котлов [10].

В начале XVIII века Мартин Тривальд разрабатывает централизованное отопление с помощью пара [11].

В конце XVIII века в Англии появляются первые чугунные и металлические печи [9].

В середине XIX века издаётся закон о паровых котлах, регламентирующий безопасность использования котлов [13].

В начале XX века печи получают стремительный скачок в развитии вследствие повышения требований к удобству [14].

В 1950 году в отопительных системах с котлами начинают применять циркуляционные насосы, что существенно повышает производительность отопительных систем [15].

В 1973 году начинается основной энергетический кризис. Люди начинают вести активную разведку потенциальных источников энергии в отопительных системах. Таким образом люди приходят к современной отопительной системе с использованием твердотопливных котлов [13].

И лишь только в 2000 году в городе Вильнюс проектировщик Эдмунтас Штропайтис запатентовал новую систему горения ставшей самой продвинутой на данный момент. Твердотопливный котёл длительного горения или по-другому пиролизный котёл, в котором сгорание горючего топлива и выделившихся из него пиролизных газов происходит отдельно. При этом топливо сгорает без остатка, а в обратном дымоходе практически отсутствует выхлопные газы [17].

## **1.2. Принцип работы пиролизного котла**

Устройство, позволяющее получать газ с помощью пиролиза древесного топлива, называется газогенерирующим котлом. Камера в которой находится топливо называется реактор или по-другому топливная камера [18].

Сначала топливо воспламеняют с помощью небольшого огня и дрова начинают гореть как в простом котле, однако при достижении температуры 200...800°C подача кислорода в камеру горения уменьшается и далее начинает происходить процесс пиролиза топлива. В процессе пиролиза выделяется газ, который идёт в камеру сгорания с помощью специальной трубы. Процесс выделения газа является экзотермическим, то есть при этом выделяется тепло.

В камере сгорания газ смешивается с более высоким количеством кислорода и воспламеняется, горение происходит при более высокой температуре и может достигать 110...1200°C. Регулирование подачи осуществляется с помощью шиберы или задвижки [19].

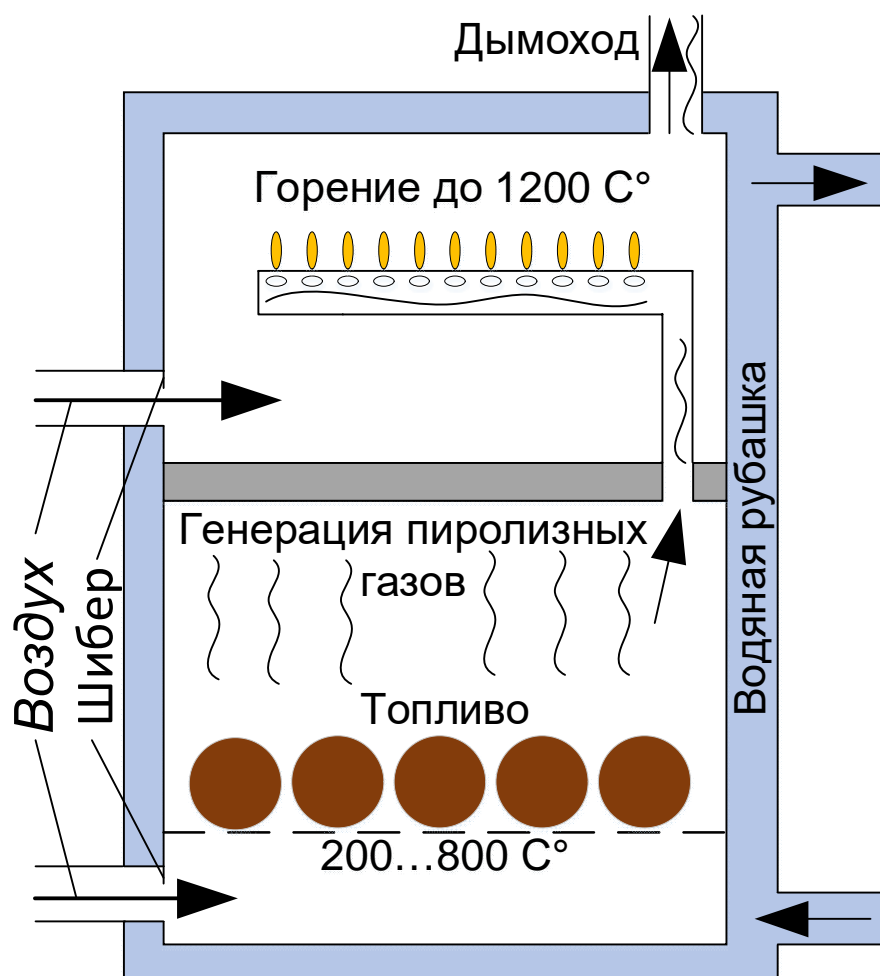


Рисунок 1 – Пиролизный котёл

Горение газа сопровождается бурным выделением тепла, тепло взаимодействует с теплообменником, подогревая этим самым воду, проходящую через теплообменник, продукты сгорания топлива при этом выходят через выхлопную трубу [17].

По словам производителей, газогенераторных пиролизных котлов КПД таких устройств варьируется в пределах 84...90%. Следует заметить, что КПД котла существенно зависит от того насколько влажным является топливо.

Ниже для лучшего представления показаны данные - зависимость мощности при сжигании килограмма дров от их влажности.

При горении одного килограмма дров с влажностью в 25% мощность составляет 4 кВт;

При горении одного килограмма дров с влажностью в 50% мощность составляет 2 кВт;



Повышенная влажность топлива приводит к существенному выделению воды в виде пара, который смешиваясь с горючим газом уменьшает его концентрацию, в итоге мощность горения существенно падает [18].

Отличительной особенностью пиролизных котлов является взаимодействие летучих газов и их продуктов сгорания. Подобное взаимодействие существенно очищает выброс тяжёлых веществ в атмосферу.

Температура обратной воды, поступающая в котел должна иметь температуру не менее 50...60°C. Если температура падает ниже указанных пределов на внешнем оборудовании котла выделяется конденсат, который в свою очередь приводит к появлению конденсата, это существенно снижает долговечность оборудования. Внутренняя толщина стенок котла не может быть менее 4 мм. [19].

### 1.3. Конструкция газогенераторных (пиролизных) котлов

На сегодняшний момент делают множество газогенераторных котлов разной конструкции, но механизм действия этих котлов один и тот же, основные комплектующие для котлов везде одинаковы. Различные конструкции представлены на рисунке 2.

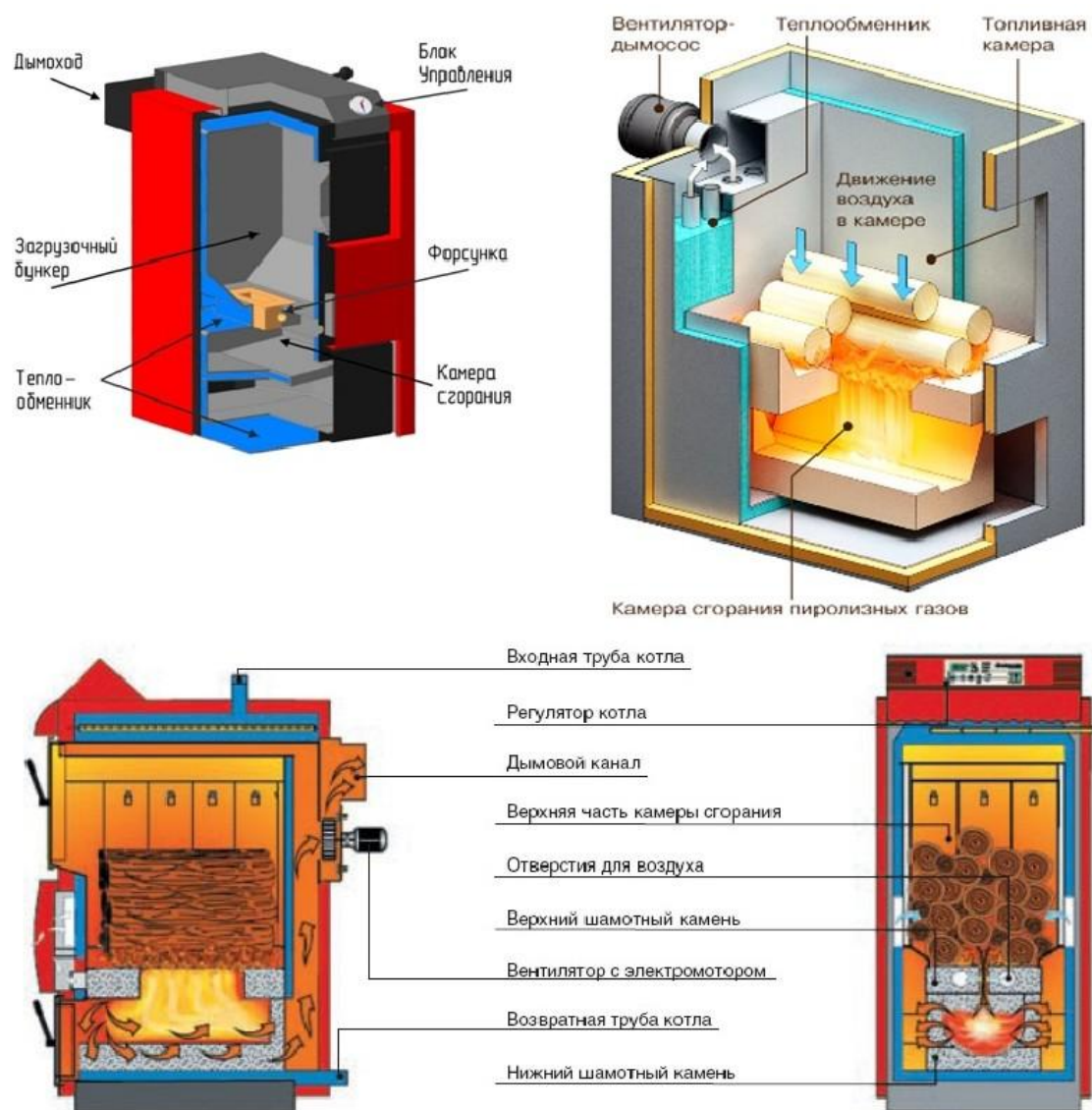


Рисунок 2 – Различные исполнения газогенераторных котлов

Газогенераторный котел состоит из двух основных отсеков:

1. Загрузочный отсек (генерирующая камера);
2. Топочный отсек (камера дожигания).

В загрузочном отсеке происходит процесс разложения топлива на кокс и летучий газ. В топочном отсеке идёт горение летучей составляющей, которая выделилась в процессе газогенерации.

В зависимости от местонахождения топочного отсека различают котлы с:

- Нижним топочным отсеком;
- Верхним топочным отсеком.

Большое распространение получили котлы с верхним топочным отсеком.

Основные достоинства и недостатки котлов с различным типом топочного отсека (камеры дожигания) приведены ниже:

Таблица 1 – Сравнение котлов с разным типом камеры дожигания

Вид топочного отсека	Достоинства	Недостатки
Нижний отсек	1. Удобная загрузка топлива в верхний отсек 2. Отвод дыма и продуктов горения происходит естественным путем 3. Не потребляет электроэнергию - отсутствуют нагнетательные и циркуляционные устройства 4. Нижний отсек более оптимален для дров [25].	1. Необходимо часто чистить топку и камеру дожигания от падающей сверху золы 2. Сложность регуляции тяги так как она зависит от высоты дымохода и погодных условий.
Верхний отсек	1. Пиролизный газ поднимается в камеру дожига естественным путем 2. Чистить котел нужно гораздо реже, чем котлы с нижней топкой. 3. Верхний отсек более оптимален для угля [25].	1. Высокая стоимость котла 2. Высокая стоимость установки котла

Газогенераторные котлы в зависимости от типа вытяжной трубы разделяются на котлы с:

- естественной тягой;
- принудительной тягой.

Естественную тягу получают за счет длинного (высокого) дымохода. Принудительную тягу получают с помощью внешнего вентилятора или дымососа, которым требуется внешний источник питания. Котел с вентилятором или дымососом более эффективен, однако зависит от наличия электрической энергии. При кратковременном перерыве питания данную проблему можно

решить установкой бесперебойного источника питания. Однако стоимость такого увеличится.

Далее следует рассмотреть минусы и плюсы котлов с принудительной и естественной тягой:

Таблица 2 – Сравнение котлов с принудительной и естественной тягой

<b>Вид тяги</b>	<b>Достоинства</b>	<b>Недостатки</b>
Принудительная	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Быстро прогревается камера сгорания и вся система отопления.</li> <li>2. Ускоряет переход на процесс пиролиза древесины</li> <li>3. Продукты сгорания не задерживаются в котле, а выходят сразу</li> <li>4. Автоматическая регулировка процесса пиролиза и догорания</li> <li>5. Длительность работы на одной загрузке больше</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Постоянная зависимость от электроэнергии</li> </ol>
Естественная	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Не прихотлив в обслуживании.</li> <li>2. Более надежный в эксплуатации, не так часто ломается</li> <li>3. Стоимость значительно ниже, чем котёл с принудительной тягой</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Следует гораздо чаще чистить котел</li> <li>2. Высокая стоимость установки котла</li> </ol>

Газогенераторные котлы длительного горения имеющие полную комплектацию снабжены программируемым контроллером, с помощью него устанавливается нужный режим обогрева. Автоматизация процесса горения состоит в регулировке работы циркуляционного насоса и дымососа.

Корпуса котлов изготавливают из стали либо чугуна. Котлы из чугуна более надежны и долговечны, потому что гораздо медленнее прогорают и подвергаются коррозии [23].

## 1.4. Достоинства и недостатки пиролизных котлов

### *Достоинства:*

- дополнительная тепловая энергия за счет более полного сгорания топлива и повышенной температуры горения. При обычном горении топлива выделяется гораздо меньше тепла, чем при горении летучего газа. При горении летучих веществ затрачивается меньшее количество кислорода, чем при горении дров в обычном котле;
- при горении практически не появляется сажи либо она формируется в очень небольшом количестве. Пиролизные печи из-за горения дерева и других видов топлива образуют гораздо меньше тяжёлых веществ и их составляющих, чем обычные твердотопливные газогенераторные котлы;
- топливо сгорает полностью практически без остатка, это означает что количество пепла будет в виде горстки пыли;
- значение КПД достигает 90%
- очень продолжительная работа котла, время между добавлением дров равно примерно 8...12 часов и имеет зависимость от температуры внешней среды, габаритов отапливаемой площади, типоразмеров котла;
- регулирование выдаваемой мощности котлом от 30 до 100%. Процесс горения пиролизного газа гораздо легче поддается процессу автоматизации, чем процесс горения дров или другого топлива.
- некоторые модели данных котлов позволяют сжигать не только дрова, но и резину с полимерными соединениями.

### *Недостатки:*

- некоторые модели зависят от электричества, так как дымосос или вентилятор пиролизного котла потребляют электроэнергию. Для повышения надежности системы при провалах напряжения применяют источники бесперебойного питания.
- крупногабаритные значения занимаемой площади котлом;
- повышенные запросы к влажности топлива;

- системы с газогенераторными котлами в основном являются одноконтурными для обогрева проточной воды нужно монтировать отдельное оборудование

- температура обратной воды должна быть 50...60 °С.
- небольшой диапазон регулирования мощности.
- пиролизные котлы имеют более высокую стоимость (примерно, в 1,5...2 раза выше стоимости обычных котлов) [21].

По сути цель данной работы приближение стоимости пиролизного котла к стоимости обычного.

### **1.5. Опыт отечественных исследователей**

Тематика пиролизных котлов затронута в нескольких исследованиях Российских ученых. Например, в статье «Технико-экономическая оценка установки котла на древесных пеллетах» приведено экономическое обоснование целесообразности установки газогенераторного котла. В конце статьи автор делает заключение о том, что установка газогенераторного котла (с пеллетами) на замену котла, использующего дизельное топливо, окупится менее чем через год. Замена котла на печном мазуте целесообразно при автоматизации подачи топлива в котёл [26].

В статье «Параметрическое моделирование сжигания древесного генераторного газа с помощью пакета прикладных программ FlowVision» магистрант Л. Ф. Илалетдинов производит моделирование сжигания пиролизного газа с помощью программного продукта FlowVision. По результатам моделирования студент пришёл к тому что для получения устойчивого и интенсивного горения газа необходимо устанавливать рассеиватель воздушного потока, направленного на дожигание [27].

Иванов С.А., Василенко А.В., Звегинцева А.М. предлагают в своей статье для сведения недостатков пиролизного котла к минимуму, регулировать процесс горения, с помощью датчика кислорода в обратном дымоходе. В зависимости от

количества кислорода изменять подачу воздуха на генерацию и дожигание пиролизных газов [28].

В работе «Теплотехнические испытания пиролизного котла» П.А. Трубаев, В.И. Филатов, П.Н. Тарасюк, Б.М. Гришко предлагают регулировать эффективность горения котла путем регулирования температуры отходящих газов с помощью шиберов установленного в обратном дымоходе. В итоге было предложено установить в обратный дымоход термопару и регулировкой шиберов не давать температуре газов повышаться свыше 400 °С [29].

### **1.6. Опыт зарубежных исследователей**

Зарубежные ученые в вопросе изучения газогенераторных котлов имеют достаточно серьезные наработки в изданиях с мировым именем. Так, например, в статье «Control Strategy for Small-Scale Wood Chip Combustion» (Стратегия управления небольшим древесностружечным горением) авторы представили иерархическую концепцию по контролю сжигания древесной щепы. Основной проблемой являлась подача воздуха с компенсацией температурных колебаний при подаче топлива. Главная задача состояла в управлении первичным и вторичным потоком воздуха в зависимости от требуемого уровня мощности и количества влаги в топливе. Данные полученные в ходе экспериментов показывают, что разработанная система способна адаптироваться к изменяющимся условиям горения и поддерживать при этом низкие уровни выбросов [27].

Stanislav Vrána, Viktor Plaček, Cyril Oswald, Bohumil Šulc, Petr Neuman в своей статье «Neural Network Evaluation of Combustion Process for Continuous Control of Small Scale Biomass Fired Boilers» (Нейросетевая оценка процесса горения для непрерывного сжигания биомассы в котлах малых размеров) предлагают оценивать качество топлива в режиме реального времени по косвенным параметрам и в зависимости от этого адаптировать ПИД регулятор. Существуют связь между консистенцией топлива и вырабатываемой теплотой при сжигании этого топлива. Поскольку химическая консистенция

используемого топлива постоянна и соотношение золы в древесине незначительно, параметром, который оценивают разработчики, является соотношение воды в топливе. Использование алгоритма управления воздухом подтвердило его способность достигать минимального производства СО, что открывает возможность снижения затрат на разработку котла путем исключения некоторых приборов [28].

В статье *Transfer Issues of Control Optimizing Combustion from Small-scale to Medium-scale Biomass-fired Boilers* (Рассмотрение вопросов контроля оптимального горения для малых и средних котлов на биомассе) авторы предлагают использовать в своем котле два контроллера. Первый контроллер управляет подачей топлива для достижения необходимой мощности котла, второй контроллер изменяет подачу воздуха так, чтобы в обратном дымоходе содержалось минимум монооксида углерода. В качестве критерия максимальной эффективности сгорания рассматривается минимальное значение регулятора первичного контроллера (который регулирует температуру выходящей отопительной воды с помощью подачи топлива). Основными этапами оптимального управления являются: 1) изменение частоты электропривода подачи воздуха, 2) ожидание установившегося значения, 3) оценка текущего расхода топлива, 4) решение относительно изменения частоты привода [32].



## 2. Объект и методы исследования

Объектом исследования в данной работе является система управления котлом пиролизного горения. Предмет исследования в свою очередь определяет границы объекта исследования. Предметом исследования является алгоритм управления горением в газогенераторном котле без датчика газа в обратном дымоходе.

Задачами исследования является: знакомство с принципом работы пиролизного котла, разработка имитационной модели пиролизного котла, получение переходных процессов температуры, получение карты экспертных оценок, разработка алгоритма работы, удешевлению стоимости системы.

В данной работе будут применены следующие методы научного исследования: анализ, обобщение, моделирование, восхождение от абстрактного к конкретному, описание.

Анализ будет использован при обработке полученных результатов моделирования. Обобщение будет использовано при изучении принципа работы пиролизных котлов, выявлении свойств котла его достоинств и недостатков. На основе дифференциальных уравнений будет смоделирована динамика работы пиролизного котла. Изначально была поставлена абстрактная задача по удешевлению системы, которая в итоге становится более конкретной. Так же в работе приводится описание принципа работы пиролизных котлов.

Для выполнения поставленных задач в работе будут использованы следующие пакеты прикладных программ: *MatLab Simulink*, *MS Word*, *MS Visio*, *MathType*.

*Simulink* – это графический объектно-ориентированный программный продукт, который позволяет с помощью блок схем и линий связи строить различные имитационные модели.

Интерактивное окружение *Simulink*, дает возможность воспользоваться уже готовыми библиотеками для моделирования различных систем. Для построения моделей используется библиотека под названием *Simulink Library*

*Browser* которая содержит в себе интегрирующие и дифференцирующие блоки, а также блоки простейших арифметических операций.

Для моделирования дифференциальных уравнений будет использован *ode23* решатель уравнений который даст необходимую скорость и точность симуляции. Функция *ode23* предназначена для интегрирования систем дифференциальных уравнений как простых, так и сложных.

Для составления графического материала проекта используется программная среда *MS Visio*, которая очень хорошо интегрируется в программный продукт *MS Word*, с помощью которого написана данная пояснительная записка.

В ходе моделирования будет использован пакет *MATLAB* для создания экспертной карты на нечеткой логике.

*Fuzzy Logic Toolbox* – это инструмент программного продукта *MATLAB*, который содержит средства для создания систем с нечеткой логикой.

Инструмент даёт возможность получать экспертные системы с нечеткой логикой, а также создавать нечеткие нейросети.

Пакет имеет в своем составе графическую оболочку для поэтапного создания нечетких систем, а также специализированные функции для построения систем нечеткой логики в *Simulink*.

Все инструменты пакета имеют открытый исходный код на языке *MATLAB*, это позволяет пользователям данного пакета следить за исполнением алгоритмов, менять открытый исходный код и реализовывать свои собственные функции и процедуры [2].

### 3. Разработка имитационной модели

#### 3.1. Исходная модель теплообменной системы

В данной работе моей целью является разработка модели теплообменной системы где в роли источника энергии для теплоносителя выступает пиролизный котёл. Задачами так же является, получение семейства зависимостей подачи воздуха от температуры котла, подтверждение адекватности полученной имитационной модели, синтез регулятора для модели, подтверждение того что использованный метод синтеза регулятора является справедливым в данной ситуации.

Для построения модели теплообменной системы с пиролизным котлом была взята модель теплообменной нелинейной системы представленной ниже[33].

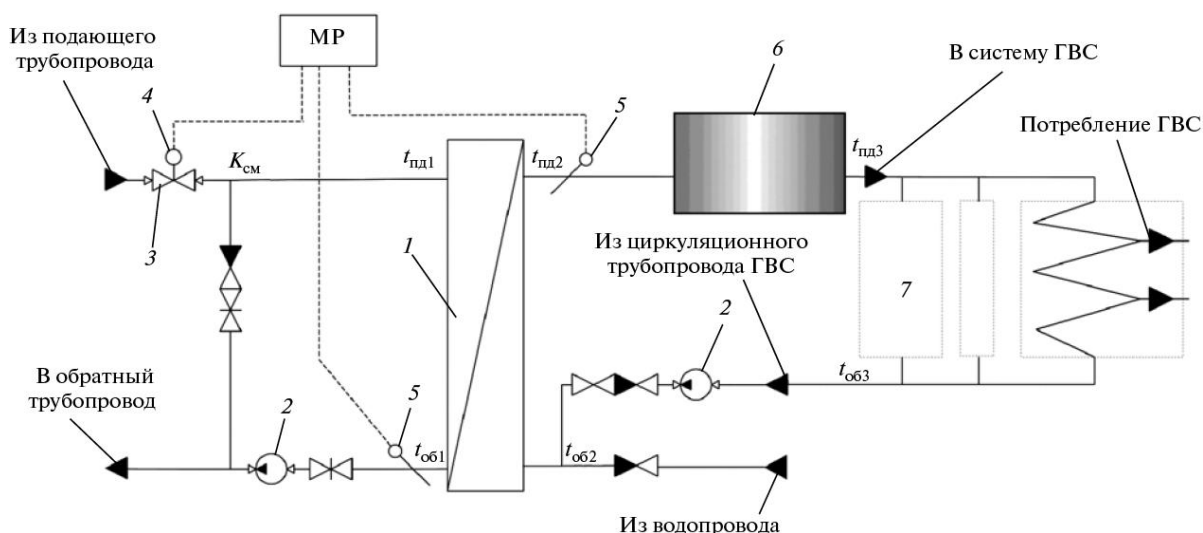


Рисунок 3 – Структура технологической схемы теплообменной системы

1 — теплообменник; 2 — насосы для циркуляции; 3 — клапан для регулирования; 4 — исполнительный механизм (ИМ); 5 — температурные датчики и микропроцессорный регулятор; 6 — накопительный бак; 7 — стояк; ГВС — горячее водоснабжение

Согласно источнику [4] данная модель характеризуется существенными нелинейными свойствами. Особенностью модели являются не только наличие электропривода для регулирующего клапана, но и нелинейные свойства смешивания воды в клапане [5], а также запаздывание по каналам

управляющих воздействий и протекание воды в трубопроводе вторичного контура. При этом высокоэффективные системы с теплообменными аппаратами имеют ограниченный запас нагретой воды, и при больших изменениях ее потребления задача повышения быстродействия становится очень тяжёлой. Кроме того, существенным возмущающим фактором в теплообменной системе является периодическая подача холодной воды во вторичный контур теплообменной системы для компенсации невосполнимого расхода теплоносителя.

Хаотичное местонахождение ответвлений стояков вторичного контура теплообменной системы и их разная удаленность от теплообменного аппарата определяют переменное запаздывание, которое оказывает существенное влияние на изменение тепловых процессов в первичном контуре.

Описание нелинейной модели теплообменной системы в пространстве переменных состояний выглядит следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dK_{cm}(\tau)}{d\tau} = [k_{\max} - K_{cm}(\tau)] \frac{k_h}{T_{np}} u(\tau); \\ \frac{dt_{n\partial 1}(\tau)}{d\tau} = \frac{[t_1 - t_{o\partial 1}(\tau)] K_{cm}(\tau) + t_{o\partial 1}(\tau) - t_{n\partial 1}(\tau)}{T_{cm}}; \\ \frac{dt_{n\partial 2}(\tau)}{d\tau} = \frac{k_T t_{n\partial 1}(\tau) + (1 - k_T) t_{o\partial 2}(\tau) - t_{n\partial 2}(\tau)}{T_T}; \\ \frac{dt_{o\partial 1}(\tau)}{d\tau} = \frac{k_T t_{o\partial 2}(\tau) + (1 - k_T) t_{n\partial 1}(\tau) - t_{o\partial 1}(\tau)}{T_T}; \\ \frac{dt_{n\partial 3}(\tau)}{d\tau} = \frac{t_{n\partial 2}(\tau) - t_{n\partial 3}(\tau)}{T_{\partial k}}; \\ \frac{dt_{o\partial 2}(\tau)}{d\tau} = \frac{(1 - k_{x.в.}) \cdot (1 - k_{o\partial 2.}) \cdot t_{n\partial 3}(\tau) + (1 - k_{x.в.}) \cdot k_{o\partial 2.} \cdot t_{ком.} + k_{x.в.} \cdot t_{x.в.}(\tau) - t_{o\partial 2}(\tau)}{T_{x.в.}}. \end{array} \right.$$

где  $\tau$  – текущее время;

$u(\tau)$  – задающее воздействие ЭП клапана;

$K_{cm}$  – коэффициент смешивания теплоносителя;

$k_{\max}, k_h$  – коэффициенты которые характеризуют нелинейные

зависимости смешивания;

$k_T$  – коэффициент эффективности теплообменника;

$k_{x.в.}$  – коэффициент влияния холодной воды на воду во внутреннем контуре;

$k_{ост.}$  – коэффициент остывания теплоносителя во внутреннем контуре;

$T_{np}$  – время хода привода ИМ от 0% до 100%;

$T_{см}$  – постоянная времени смещения на клапана;

$T_T$  – постоянная времени в теплообменнике;

$T_{бк}$  – постоянная времени в баке;

$T_{x.в.}$  – постоянная времени в узле ввода холодной воды;

$t_1$  – температура воды, поступающей из магистральной сети;

$t_{нд1}$  – температура воды на входе теплообменной системы;

$t_{об1}$  – температура обратной воды на выходе внешнего контура теплообменной системы;

$t_{нд2}$  – температура воды на выходе внутреннего контура теплообменной системы;

$t_{об2}$  – температура обратной воды на входе внутреннего контура теплообменной системы;

$t_{нд3}$  – температура воды на выходе промежуточного накопителя;

$t_{ком.}$  – температура окружающей среды;

$t_{x.в.}$  – температура холодной воды из водопровода.

### 3.2. Адаптированная модель теплообменной системы

Для составления системы дифференциальных уравнений пиролизного котла и дальнейшего моделирования в программной среде, была использована модель и соответственно дифференциальные уравнения теплообменной системы, представленной выше [33]. Следует отметить, что согласно источнику, данная математическая модель уже проверена и на ней проведено несколько исследований, большинство элементов представлены обычными инерционными звеньями и описывают поведение температуры так, как это происходит в настоящей теплообменной системе. Следовательно, модель, представленная в предыдущей главе может быть прототипом для модели, которая будет разработана далее. Рассматривая основные тонкости пиролизного котла следует адаптировать прототип теплообменной системы.

При получении модели были приняты некоторые допущения, которые приведены далее:

- Температуру подачи воды пиролизного котла можно описать следующей зависимостью:

$$T_{in} = Q \cdot t_{m.в.} + t_{ком.} \cdot (1 - Q)$$

Первое слагаемое описывает температуру подачи воды в зависимости от потока воздуха, направленного на генерацию пиролизных газов ( $Q_p$ ) и их дожигание ( $Q_a$ ), второе слагаемое описывает влияние комнатной температуры на температуру подачи воды.

$Q$  - суммарный относительный воздушный поток, который состоит из воздушных потоков  $Q_p$  и  $Q_a$ . Относительный воздушный поток равен отношению регулируемого воздушного потока к воздушному потоку, при котором будет достигнута максимально возможная мощность котла.

$t_{m.в.}$  - максимально возможная теоретическая температура воды непосредственно у поверхности нагрева.

$t_{ком.}$  - комнатная температура (температура окружающей среды).

Формула представленная выше получена интуитивным способом предполагая, что зависимость нагрева воды от воздушного потока линейна. Так же моделируя систему с указанной зависимостью в дальнейшем была получена температура на выходе ТОС которая соответствует действительности. Из соображений безопасности не имеется возможности проверить данную зависимость, так как для этого следовало бы нагреть воду до критически небезопасных температур, которые могут привести к взрыву котла;

- Воздушный поток необходимый для дожигания пиролизных газов считается равным  $Q_a = 10 \cdot Q_p$ . Примерно при таком соотношении достигается оптимальное горение. Следует учесть, что недостаток части суммарного воздушного потока ( $Q_a$ ) будет вызывать не догорание пиролизных газов и образование смолы и копоти в дымоходе, а переизбыток будет вызывать излишний выброс пиролизных газов и тепловой энергии в окружающую среду, и то и другое будет значительно снижать КПД газогенераторной установки (пиролизного котла);

- За счёт инерционных свойств крупного теплообменника можно пренебречь в модели влиянием обратной температурой котла;

- Дифференциальное уравнение подачи воды пиролизного котла будет представлено в виде:

$$\frac{dt_{nd1}(\tau)}{d\tau} = \frac{T_{in} - t_{nd1}(\tau)}{T_{нагр.}}$$

где  $T_{нагр.}$  - постоянная времени нагрева котла;

- Уравнение температуры подачи  $t_{nd1}(\tau)$  следует заменить на температуру подачи пиролизного котла, так же из уравнений следует исключить коэффициент смешивания, так как в первичном контуре, подмешивания горячей воды в холодную нет. В связи с этим можно заключить, что использование клапана и исполнительного механизма в первичном контуре не целесообразно.

Согласно нелинейной модели, в пространстве переменных состояний представленной в статье [33] и с учётом допущений принятых выше составим систему дифференциальных уравнений в Форме Коши для теплообменной системы с пиролизным котлом.

Следует так же учесть, что система имеет один стояк-ответвитель, что сильно упрощает систему дифференциальных уравнений.

Система дифференциальных уравнений представлена ниже:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dt_{n\partial 1}(\tau)}{d\tau} &= \frac{Q_p \cdot t_p + t_{ком.} \cdot (1 - Q_p) - t_{n\partial 1}(\tau)}{T_{нагр.}} \\ \frac{dt_{n\partial 2}(\tau)}{d\tau} &= \frac{k_T \cdot t_{n\partial 1}(\tau) + (1 - k_T) \cdot t_{об2}(\tau) - t_{n\partial 2}(\tau)}{T_T} \\ \frac{dt_{об2}(\tau)}{d\tau} &= \frac{(1 - k_{х.в.}) \cdot (1 - k_{ост.}) \cdot t_{n\partial 3}(\tau) + (1 - k_{х.в.}) \cdot k_{ост.} \cdot t_{ком.} + k_{х.в.} \cdot t_{х.в.}(\tau) - t_{об2}(\tau)}{T_{х.в.}} \\ \frac{dt_{n\partial 3}(\tau)}{d\tau} &= \frac{t_{n\partial 2}(\tau) - t_{n\partial 3}(\tau)}{T_{бак}} \end{aligned} \right.$$

где  $\tau$  - текущее время;

$k_T$  - коэффициент эффективности теплообменника;

$k_{х.в.}$  - коэффициент влияния холодной воды на воду во внутреннем контуре;

$k_{ост.}$  - коэффициент остывания теплоносителя во внутреннем контуре;

$Q_p$  - относительный воздушный поток, направленный на генерацию пиролизных газов в первичной камере;

$t_{м.в.}$  - максимально возможная теоретическая температура воды непосредственно у поверхности нагрева;

$T_T$  - постоянная времени в теплообменнике;

$T_{бак}$  - постоянная времени в баке;

$T_{х.в.}$  - постоянная времени в узле ввода холодной воды;

$t_{n\partial 1}$  - температура воды на входе теплообменной системы;



$t_{нд2}$  - температура воды на выходе внутреннего контура теплообменной системы;

$t_{об2}$  - температура обратной воды на входе внутреннего контура теплообменной системы;

$t_{нд3}$  - температура воды на выходе промежуточного накопителя;

$t_{ком.}$  - температура окружающей среды;

$t_{х.в.}$  - температура холодной воды из водопровода.

Структура технологической схемы теплообменной системы с пиролизным котлом выглядит следующим образом:

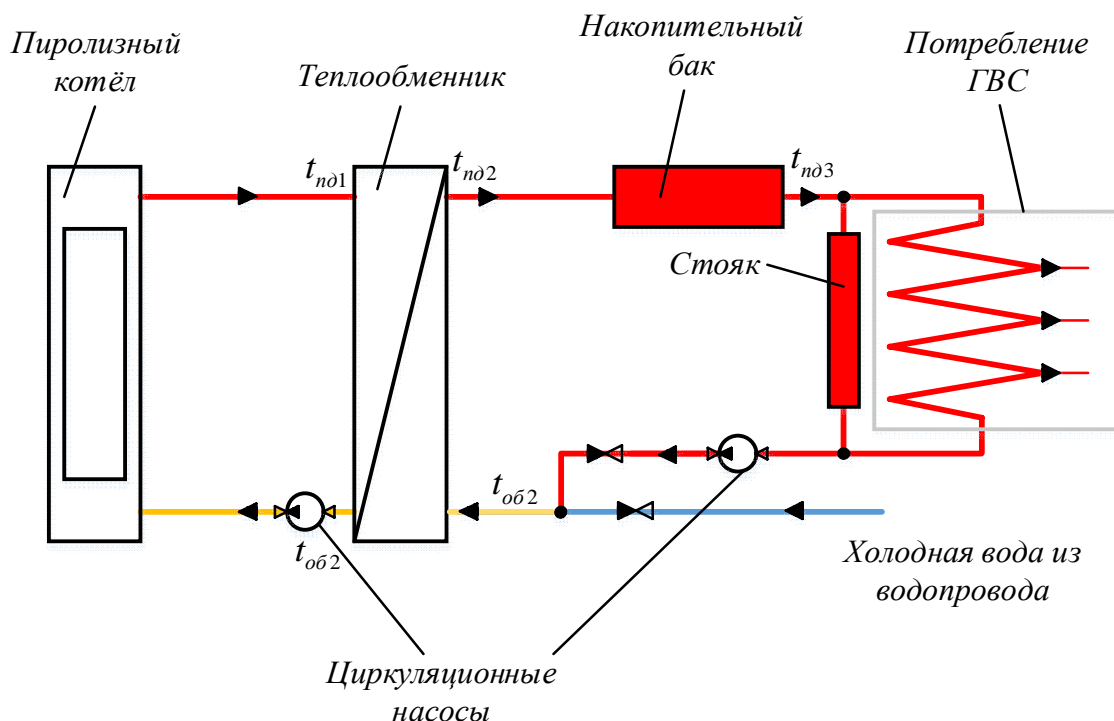


Рисунок 4 - Структура технологической схемы теплообменной системы с пиролизным котлом

Пиролизный котёл обладает водяной рубашкой, вода, циркулируя через котёл забирает тепло полученное в камере дожигания, далее вода попадает в теплообменник, тепло из первого контура передается во второй, при этом подстывшая обратная вода первого контура возвращается обратно в пиролизный котёл, так как принято, что теплообменник имеет очень большую инерционность, то разница между температурой подачи воды и температурой

обратной - незначительна, так как мощность которую забирает второй контур гораздо меньше подаваемой. Вода от котла попадая во второй контур идёт в накопительный бак, который выполняет в системе ряд функций, а именно: накопительный бак поддерживает давление в системе, когда насос отключён, при попадании в трубопровод воздуха или при перепаде напряжения может возникнуть гидравлический удар, накопительный бак защищает систему от него. Так же накопительный бак способен сохранять в запасе определённое количество воды с некоторым давлением. Использование накопительного бака позволяет при малом водопотреблении оставлять насос отключённым, потребности в жидкости удовлетворяются за счёт того объёма, который хранится в запасе, что позволяет защитить насос от преждевременного износа.

Вода из накопительного бака попадает в стояк и идёт на потребление горячего водоснабжения, в адаптированной модели рассматривается теплообменная система с одним стояком-ответителем. В случае отсутствия потребления горячего водоснабжения вода циркулирует с помощью циркуляционного насоса через стояк, при этом забор холодной воды из водопровода не происходит. Проходные клапаны не позволяют циркулировать нагретой воде в водопровод и холодной воде из водопровода в систему ГВС, направление движения жидкости принимается от белой стрелки к черной. В случае потребления горячего водоснабжения (ГВС) вода от теплообменника поступает в систему ГВС, в системе возникает нехватка давления клапан холодной воды открывается, и холодная вода из водопровода стремится в теплообменник. Проходя теплообменник, вода нагревается поступает в накопительный бак, а далее на отопление и ГВС.

### 3.3. Имитационная модель теплообменной системы

Для получения имитационной модели в своей работе был использован программный пакет *MatLab Simulink*. Для каждого дифференциального уравнения системы используя простые арифметические выражения пакета *Simulink* нужно составить мини-модель, которая будет описывать температуру воды в какой-либо из точек системы. Помимо простых арифметических блоков в ходе моделирования использованы интегрирующие звенья *Transfer Fcn*, константы и блоки для осциллографирования *Scope*. Дифференциальные уравнения представляют из себя простые апериодические звенья.

Постоянные времени которые рассматриваются в модели справедливы для котла мощностью 100 кВт. При этом приведенные значения постоянных времени для теплообменной системы и котла были получены в ходе обсуждения проектных работ с представителями фирмы «Экономика отопления».

Для первого уравнения системы дифференциальных уравнений принимаем, следующее:

- $t_{m.в.}$  - максимально возможная теоретическая температура воды непосредственно у поверхности нагрева равна  $600^{\circ}\text{C}$ ;
- $t_{ком.}$  - комнатная температура (температура окружающей среды) равна  $20^{\circ}\text{C}$ ;
- Постоянная времени нагрева котла принимается 300 с.

Имея первое дифференциальное уравнение получена следующая модель:

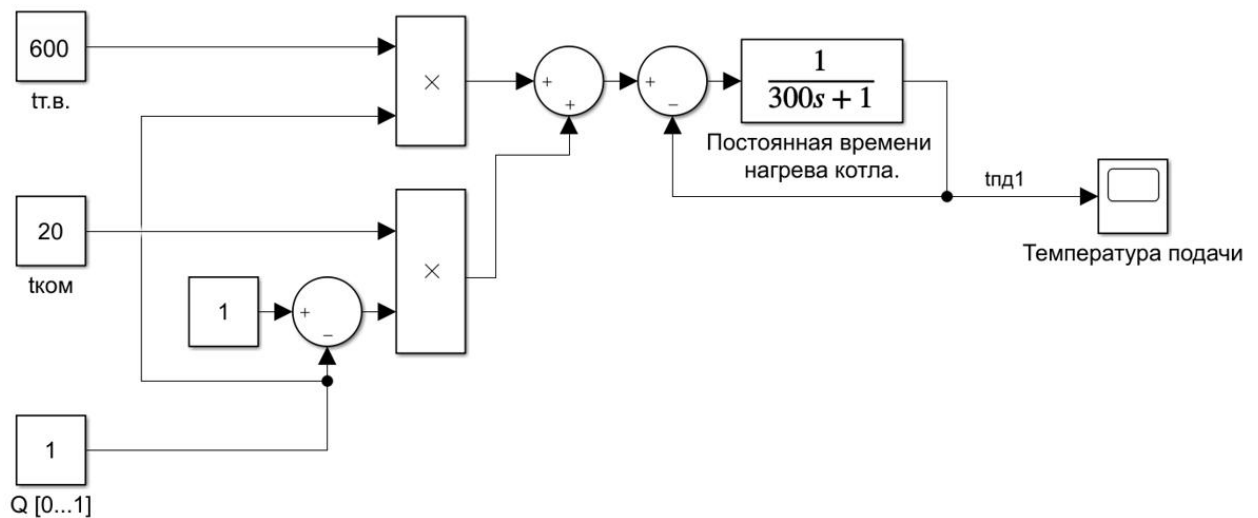


Рисунок 5 – Модель пиролизного котла

Для более упрощенного представления следует преобразовать модель в подсистему, получается следующее:

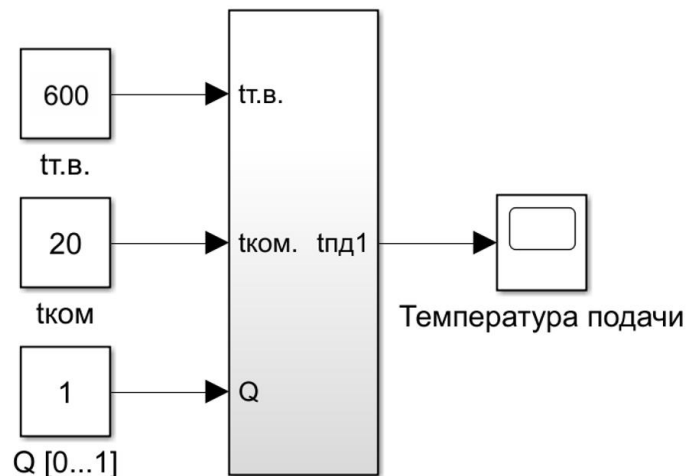


Рисунок 6 – Упрощенная модель пиролизного котла

Для второго уравнения системы принимается, следующее:

- $k_T$  - коэффициент эффективности теплообменника равным 0,9;
- Постоянная времени в теплообменнике 210 с.

Модель теплообменника в программной среде *MatLab Simulink* представлена на рисунке 7.

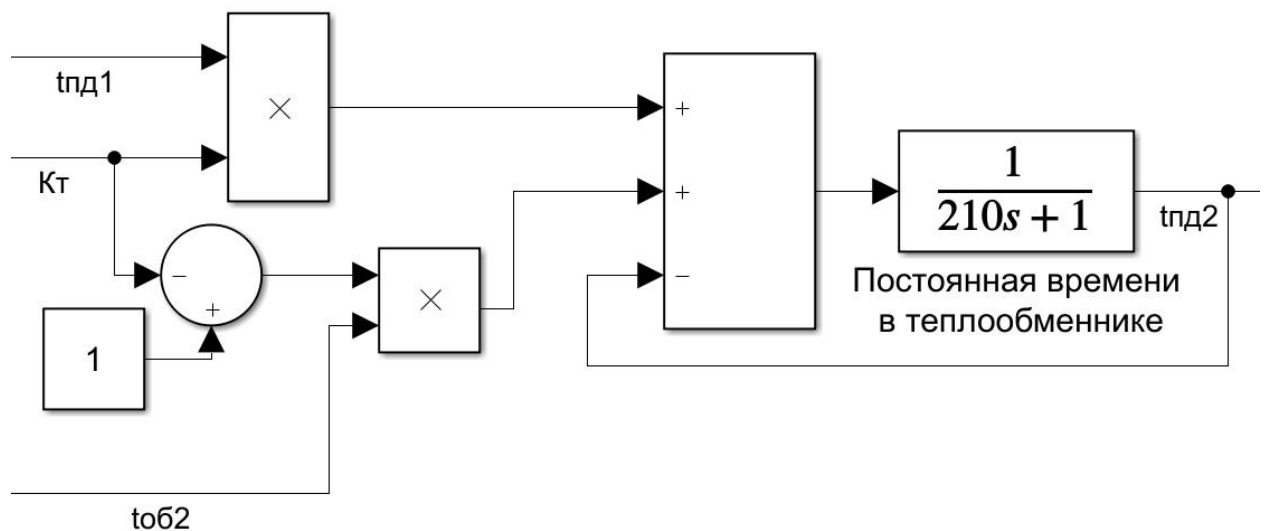


Рисунок 7 – Модель теплообменника

Для более упрощенного представления следует преобразовать модель в подсистему, получается:

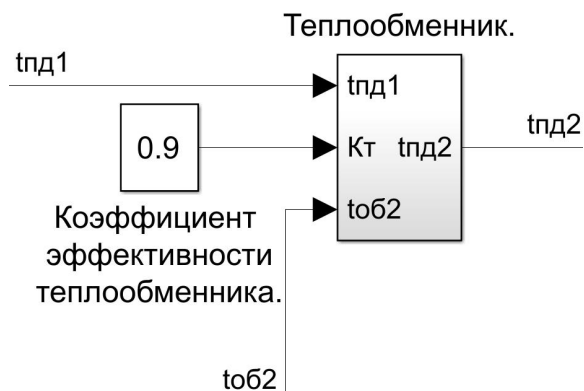


Рисунок 8 - Упрощенная модель теплообменника

Для третьего уравнения системы принимается, следующее:

- $k_{x.в.}$  - коэффициент влияния холодной воды на воду во внутреннем контуре равен 0,05;
- $k_{ост.}$  - коэффициент остывания теплоносителя во внутреннем контуре равен 0,05;
- $t_{x.в.}$  - температура холодной воды из водопровода равна 20;
- Постоянная времени в узле ввода холодной воды равна 10 с.

Модель системы отопления и ГВС представлена на рисунке 9.

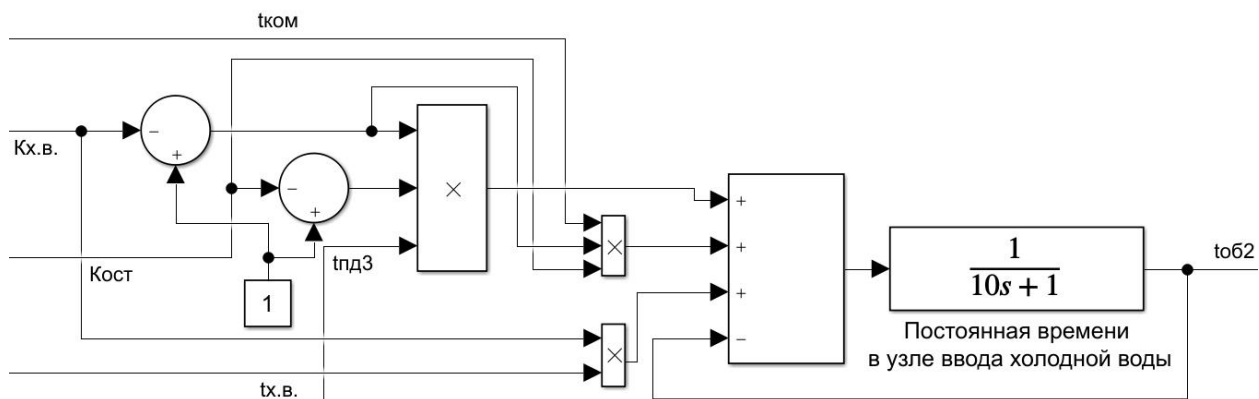


Рисунок 9 – Модель системы отопления и ГВС

Для более упрощенного представления следует преобразовать модель в подсистему, получается следующее:

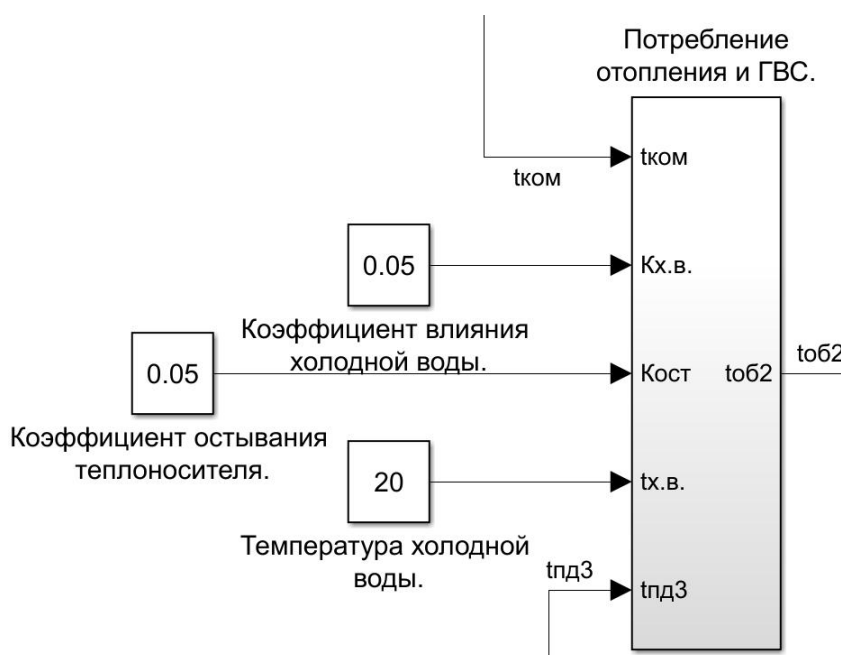


Рисунок 10 – Упрощенная модель системы потребления отопления и ГВС

Для четвертого уравнения системы принимается, следующее:

- $T_{\text{бк}}$  - постоянная времени в накопительном баке равна 40 с.;
- Чтобы не получить переходный процесс нагрева холодной воды от 0°C (что не является корректным для данной системы), на выходе передаточной функции имеется сумматор с температурой холодной воды, который выступает в роли задания начальных условий.

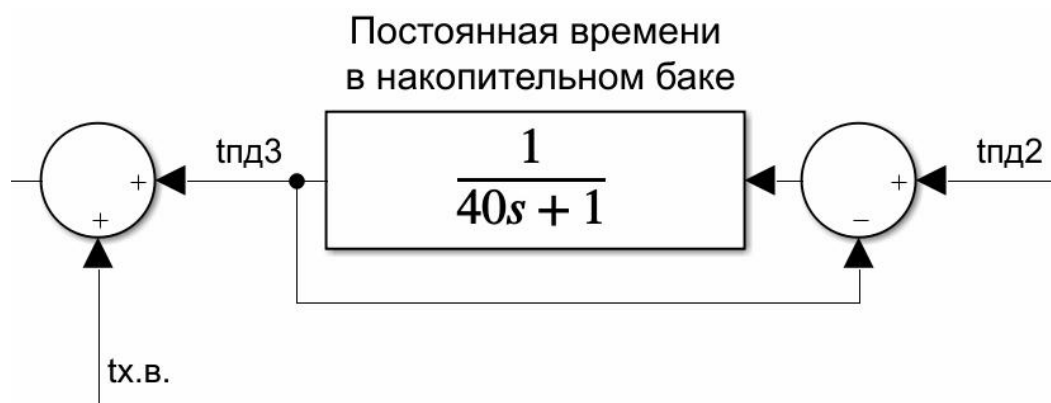


Рисунок 11 – Передаточная функция накопительного бака

Соединив линии связи между передаточными звеньями системы получается итоговая модель теплообменной системы с пиролизным котлом (Рисунок 12). В конечном итоге модель представленная на рисунке 12 для более наглядного и удобного представления была свёрнута в подсистему с помощью функции *Subsystem* (Рисунок 14). В данной модели, регулируя относительный поток воздуха, направленный на генерацию пиролизных газов и дожигание, можно регулировать температуру в любой точке системы, в данном случае нужно регулировать температуру на выходе накопительного бака.

В дальнейшем при синтезе регулятора автоматической системы управления и проверке адекватности модели в роли задающего воздействия будет выступать относительная подача воздуха, в роли возмущающего воздействия различные коэффициенты системы, в частности коэффициент влияния холодной воды который возрастает при потреблении воды из горячего водоснабжения.

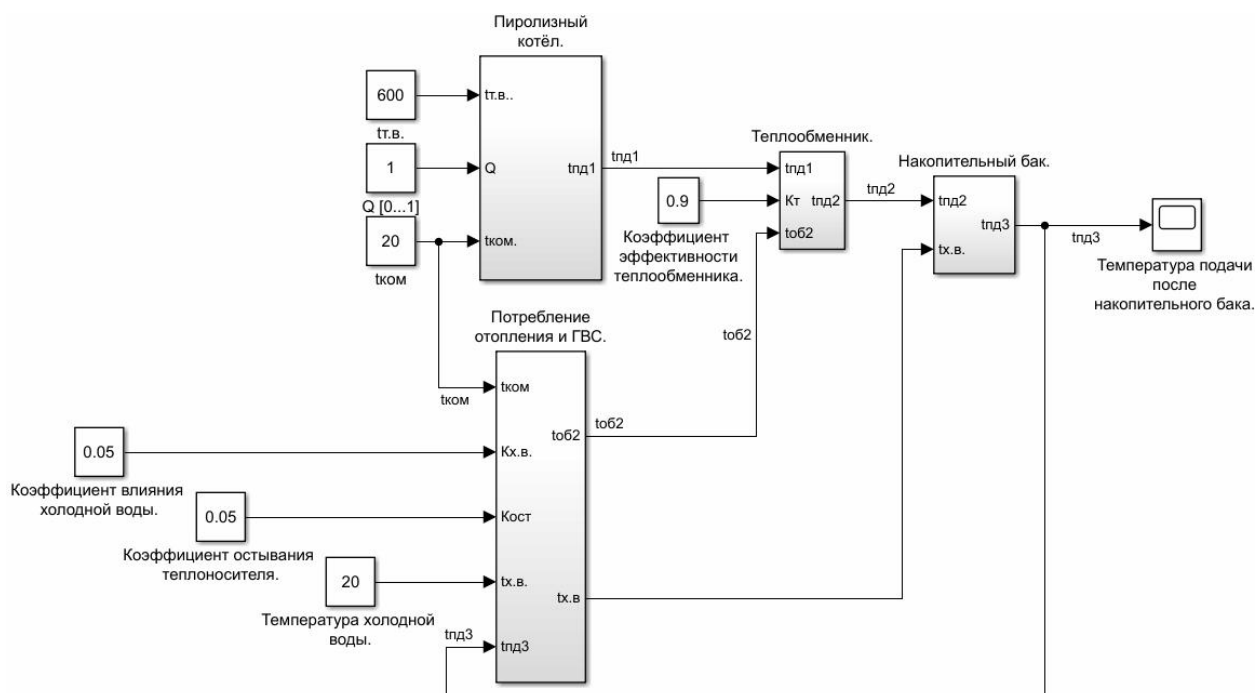


Рисунок 12 – Модель теплообменной системы с пиролизным котлом

Так же следует упомянуть, что исполнительным механизмом для нагнетания воздушного потока в котёл является асинхронный частотный электропривод вентилятора.

Постоянными времени для асинхронного электродвигателя и преобразователя частоты можно пренебречь так как переходные процессы в них очень малы по сравнению со скоростью протекания переходных процессов в теплообменной системе.



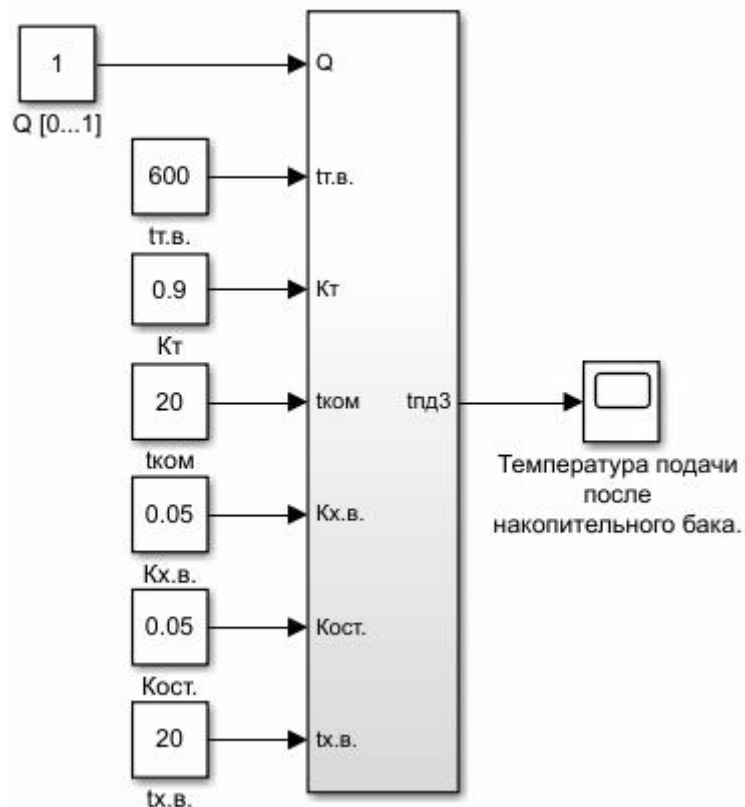


Рисунок 13 - Упрощенная модель теплообменной системы с пиролизным КОТЛОМ

Для подтверждения адекватности приведенной выше модели следует получить семейство характеристик при различной подаче воздуха, а также при изменении потребления отопления и ГВС. Для имитации возмущающего воздействия на систему, после выхода температуры на установившийся режим, следует изменять коэффициент влияния холодной воды на горячую. С помощью функционального блока *Step* библиотеки *MatLab Simulink* будет происходить скачкообразное изменение  $k_{х.в.}$  с 0,05 до 5. Семейство характеристик полученное в результате эксперимента представлено на рисунке 14.

Все графики, полученные в программной среде *MatLab Simulink* выгружены с помощью инструмента *Plot* и обработаны в *MS Visio*.

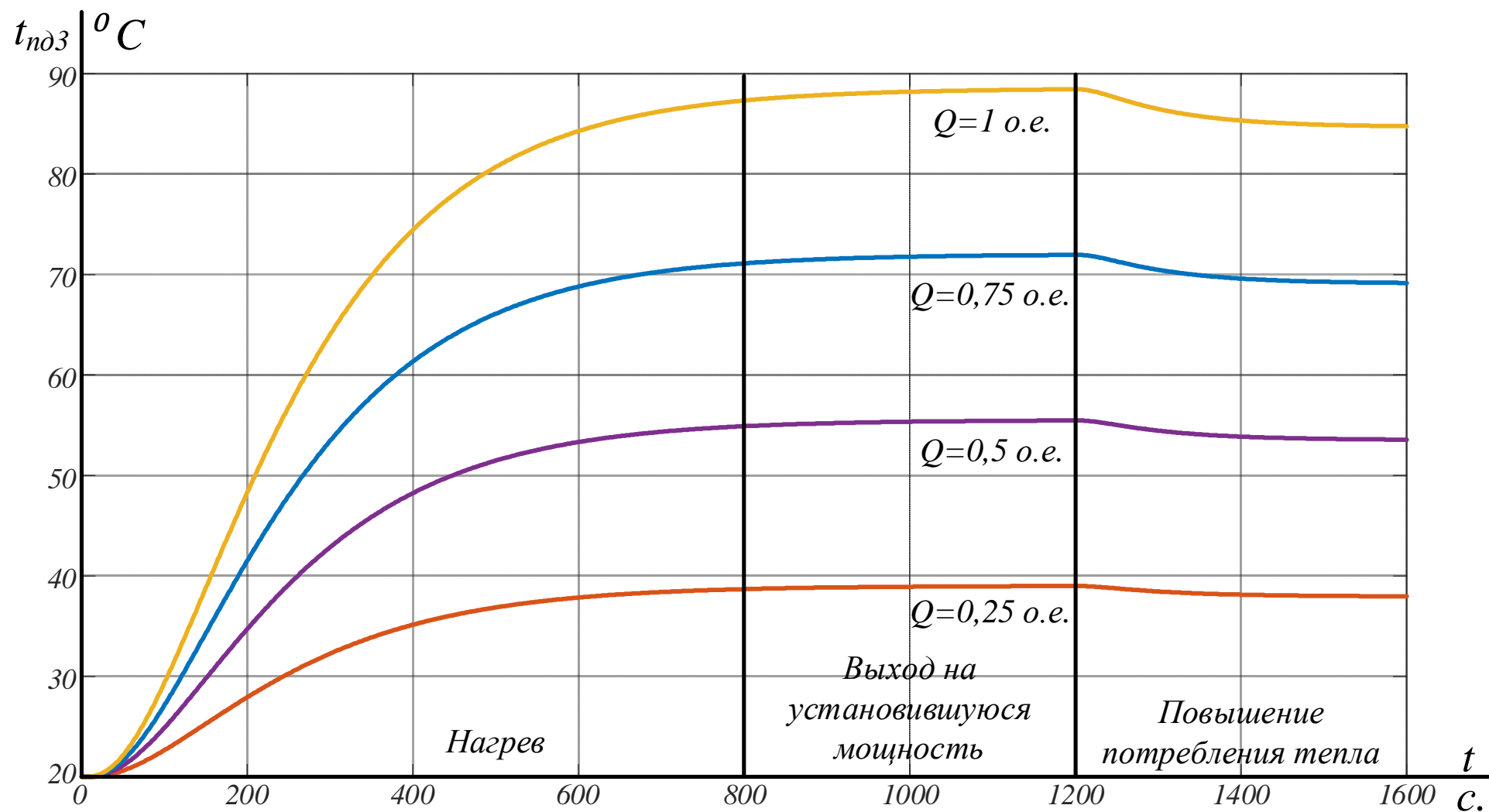


Рисунок 14 – Семейство переходных характеристик при различном воздушном потоке  $Q$

На основании полученных данных можно заключить, что данная система имеет некоторое время запаздывания от начала подачи воздушного потока до начала изменения температуры, то есть получен апериодический переходный процесс второго порядка с запаздыванием.

Температура воды после накопительного бака при номинальной мощности котла составляет чуть меньше  $90^{\circ}\text{C}$ . Температура воды при минимальном воздушном потоке порядка  $39^{\circ}\text{C}$ .

Практика показывает, что не рекомендуется уменьшать мощность котла менее 50%, и делать температуру воды менее  $50^{\circ}\text{C}$ , так как это чревато образованием смол в дымоходе котла и конденсата на обратной трубе. Экспериментально было получено, что для достижения температуры в  $50^{\circ}\text{C}$  необходимо поддерживать воздушный поток не менее 42% от номинального.

Время выхода котла на установившуюся температуру составляет порядка 20 мин. при номинальной мощности и порядка 13 мин. при минимальной мощности.

В ходе моделирования было выяснено, что для наглядной имитации возмущающего воздействия на систему, необходимо изменять коэффициент влияния холодной воды (потребление ГВС), либо температуру холодной воды.

Так же не трудно заметить, что при повышении потребления тепла на различных характеристиках, амплитуда изменения температуры различная. Объясняется это тем, что согласно закону охлаждения Ньютона-Рихмана скорость охлаждения пропорциональна разности температур между нагретым телом и средой до температуры, которой оно охлаждается. То есть чем больше разность температур, тем быстрее охлаждается теплоноситель. Отсюда можно так же заключить, что холодная подмешиваемая вода большее влияние окажет на более горячий теплоноситель [34].

### 3.4. Получение упрощенной передаточной функции и синтез регулятора

Для синтеза параметров регулятора необходимо упростить имеющуюся модель теплообменной системы до одной передаточной функции.

Как было установлено в предыдущей главе переходный процесс имеет апериодическую кривую разгона с запаздыванием  $S$ -образной формы. Передаточная функция объекта представляется в виде последовательного соединения запаздывающего звена и апериодического:

$$W_0(s) = \frac{k}{Ts + 1} \cdot e^{-\tau s}$$

где  $k$  – передаточный коэффициент,  $T$  – постоянная времени,  $\tau$  – запаздывание.

Для упрощения передаточной функции теплообменной системы и расчёта параметров регулятора следует воспользоваться методом Зиглера - Никольса [35]. Данный метод был предложен вскоре после создания ПИД – регулятора двумя учеными, Зиглером и Никольсом, метод был получен эмпирически на основе экспериментальных данных реального объекта.

Наибольшее распространение получили несколько методов настройки параметров регулятора. Далее будет использован метод где по кривой разгона, графическим методом, вычисляется передаточная функция и рассчитываются параметры регулятора.

Регуляторы, которые рассчитаны по данному методу не всегда обеспечивают необходимое качество процесса регулирования. Однако, несмотря на это модификации данного метода очень популярны и многие производители регуляторов рекомендуют именно этот метод.

На рисунке 15 показано, каким образом определяются параметры упрощенной передаточной функции.

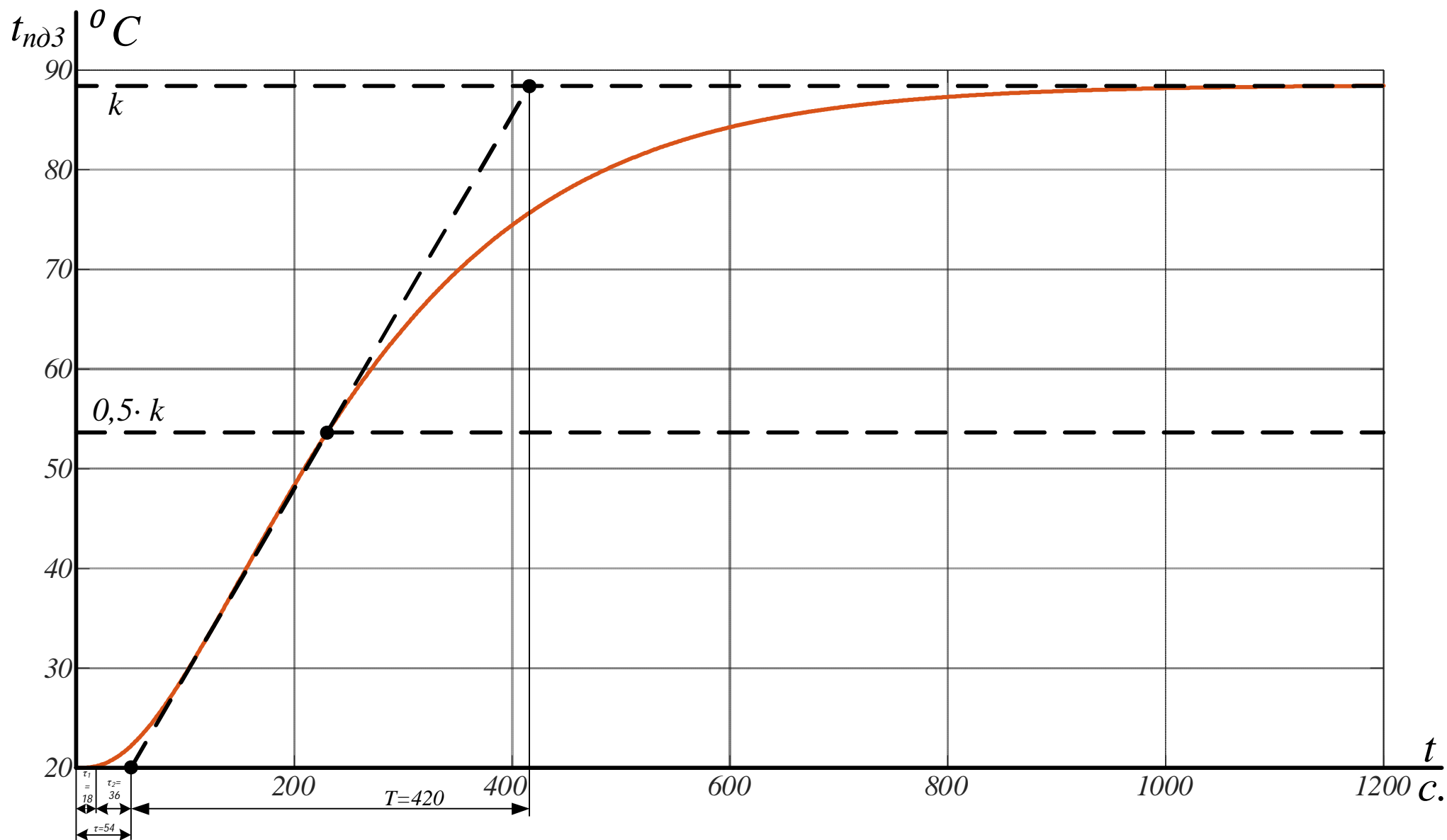


Рисунок 15 – Определение параметров передаточной функции объекта управления

Для определения параметров используется переходный процесс при номинальной подаче воздуха, в итоге получено следующее:

$$k = 68^{\circ}\text{C}, T = 420 \text{ с}, \tau = 54 \text{ с}, \tau_l = 18 \text{ с}, \tau_2 = 36 \text{ с}.$$

Упрощенная передаточная функция объекта с S-образной характеристикой выглядит следующим образом:

$$W_0(s) = \frac{k \cdot e^{-s\tau_l}}{(T_{0i}s + 1)^n}$$

Постоянную времени  $T_{0i}$  и порядок модели  $n$  можно вычислить по экспериментальным параметрам  $T_0$  и  $\tau_2$  с помощью соотношений представленных в таблице 3.

Таблица 3

$n$	$\frac{\tau_2}{T_0}$	$\frac{T_0}{T_{0i}}$	$\frac{\tau_2}{T_{0i}}$	$n$	$\frac{\tau_2}{T_0}$	$\frac{T_0}{T_{0i}}$	$\frac{\tau_2}{T_{0i}}$
1	0,000	1,00	0,00	7	0,595	6,22	3,70
2	0,107	2,72	0,29	8	0,673	6,71	4,52
3	0,222	3,69	0,82	9	0,745	7,16	5,34
4	0,323	4,46	1,44	10	0,816	7,59	6,20
5	0,420	5,12	2,15	11	0,871	7,99	7,04
6	0,518	5,69	2,95	12	0,942	8,38	7,90

Исходя из выражения, приведенного ниже можно заключить, что передаточная функция имеет второй порядок:

$$n \approx \frac{\tau_2}{T_0} = \frac{36}{420} = 0,0857$$

Вычислим постоянную времени  $T_{0i}$  и найдём среднее значение:

$$T_{0i} = \frac{\tau_2}{2,72} = \frac{420}{2,72} = 150,411;$$

$$T_{0i} = \frac{T_0}{0,29} = \frac{36}{0,29} = 124,137;$$

$$T_{0icp} = 139,274.$$

Подставляя полученные коэффициенты получаем:

$$W_0(s) = \frac{k \cdot e^{-s\tau_1}}{(T_{0i}s + 1)^n} = \frac{68 \cdot e^{-18s}}{(139,274 \cdot s + 1)^2}.$$

Упрощаем выражение с учётом приближенной замены:

$$e^{-s\tau} = 1 - s\tau = 1 - 18 \cdot s$$

$$W_0(s) = \frac{68 \cdot e^{-18s}}{(139,274 \cdot s + 1)^2} = \frac{68 \cdot (1 - 18 \cdot s)}{139,274^2 \cdot s^2 + 2 \cdot 137,274 \cdot s + 1}$$

Далее воспользуемся эмпирическими формулами для расчёта параметров регулятора [36]:

$$k_p = \frac{0,74 \cdot T_0}{k_0 \cdot \tau} = \frac{0,74 \cdot 420}{68 \cdot 54} = 0,0846;$$

$$T_u = 0,74 \cdot T_0 = 0,74 \cdot 420 = 310,8$$

$$T_\phi = 0,18 \cdot 420 = 75,6$$

Подставляем полученные параметры в модель ПИД – регулятора в программной среде *MatLab Simulink*:

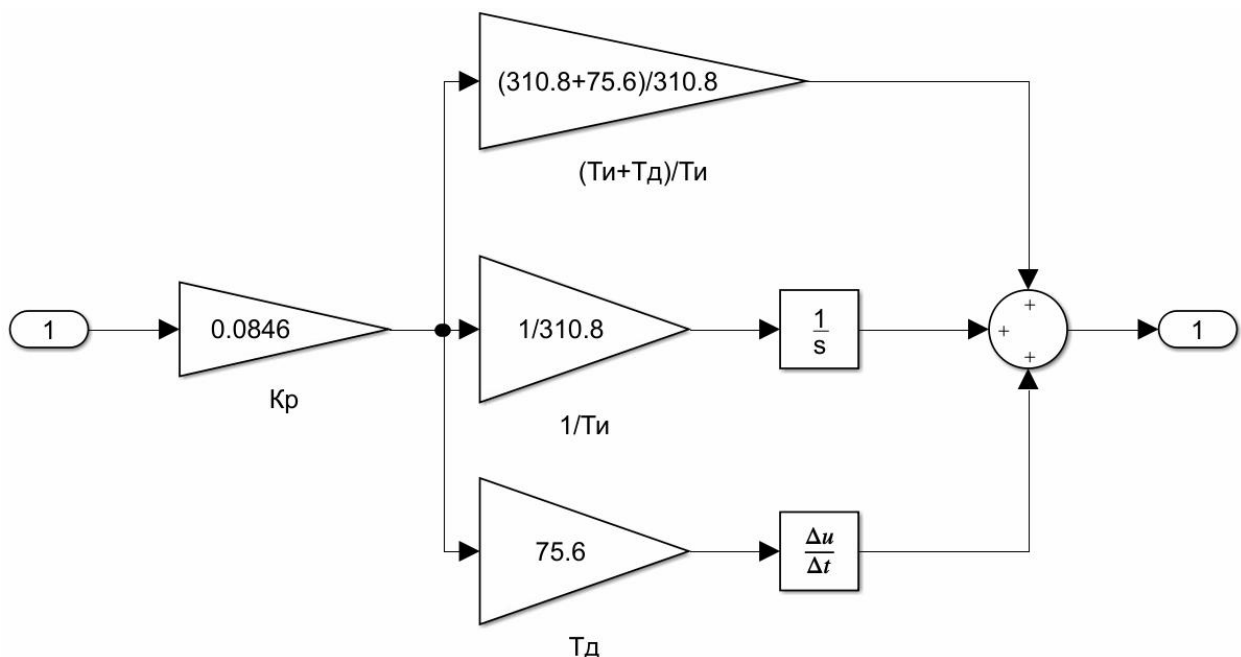


Рисунок 16 – Модель ПИД регулятора полученного с помощью упрощенной передаточной функции

Упрощенная передаточная функция для ТОС в программной среде *MatLab Simulink* выглядит следующим образом:

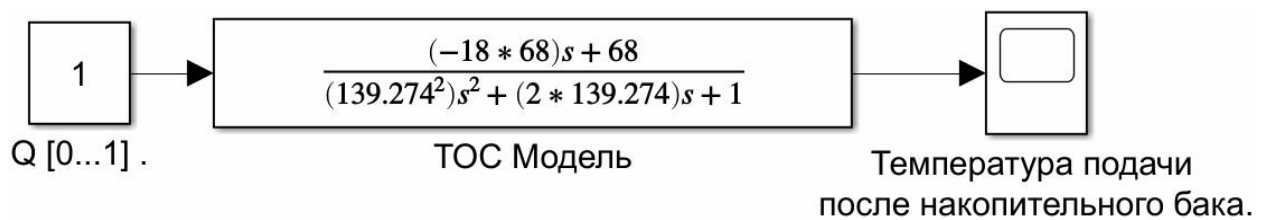


Рисунок 17 – Упрощенная модель ТОС

Для того что бы понять насколько адекватна упрощенная модель и можно ли использовать полученный регулятор для полноценной ТОС, нужно сравнить переходные процессы упрощённой теплообменной системы и полной. Сравнение переходных характеристик при нагреве котла представлено на рисунке 19.

Из полученного графика можно заключить, что рассчитанный ПИД регулятор можно использовать для модели теплообменной системы с пиролизным котлом (Рисунок 18), так как расхождение в температурах при нагреве котла не превышает пяти процентов, а в установившемся режиме характеристики практически одинаковы.

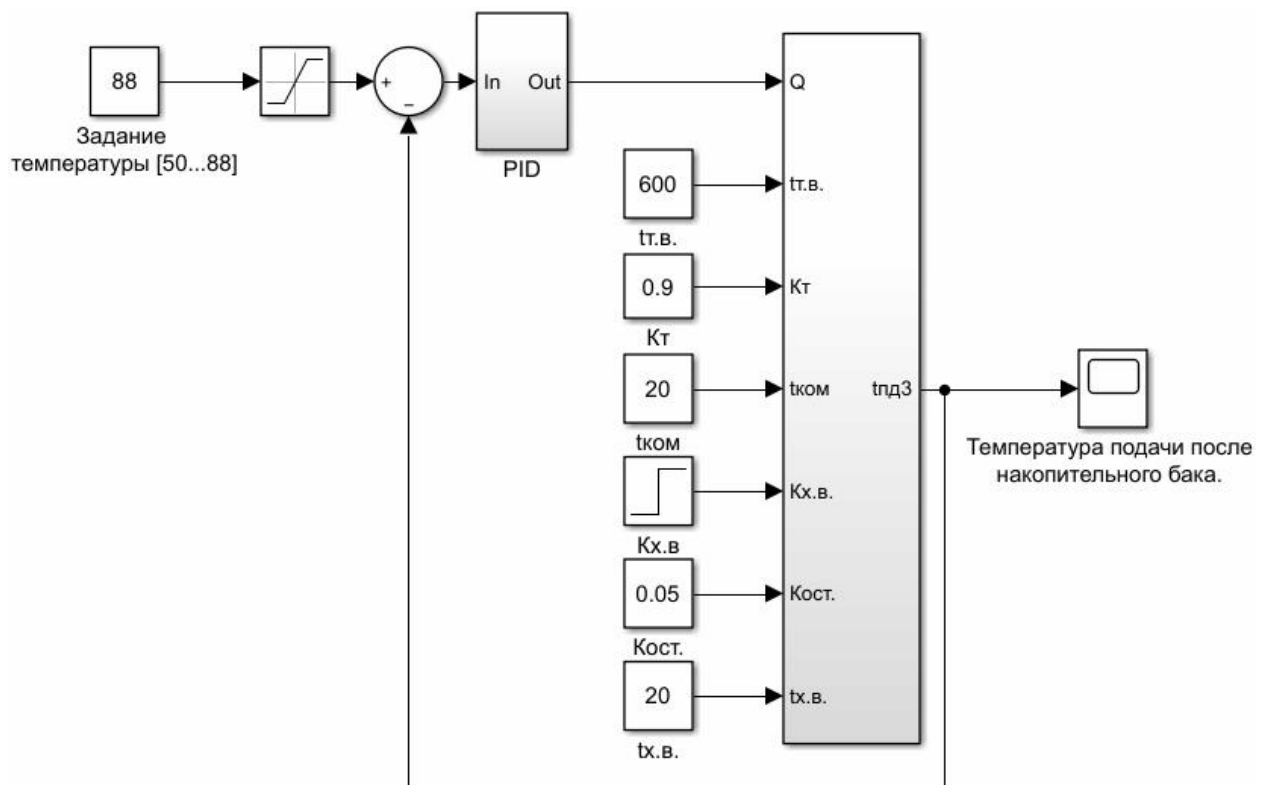


Рисунок 18 – Модель пиролизного котла с теплообменной системой и ПИД регулятором



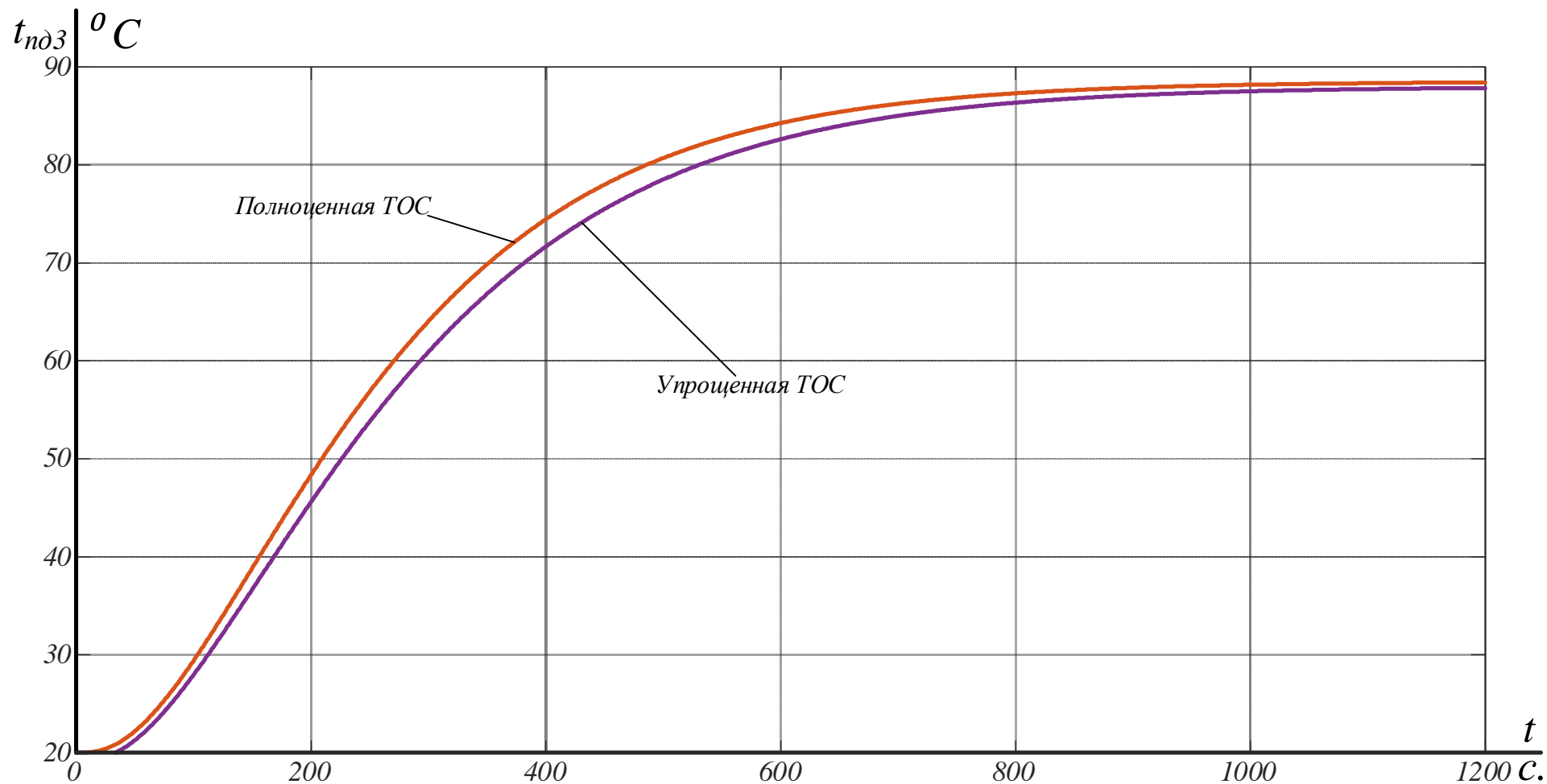


Рисунок 19 - Сравнение переходного процесса для упрощенной передаточной функции и полноценной

Характеристики, полученные из модели пиролизного котла с теплообменной системой и ПИД регулятором представлены на рисунке 20. Регулирование температуры осуществляется в диапазоне 50...88°C. Не трудно заметить, что время выхода на установившееся значение с ПИД регулятором гораздо меньше, чем без него, при этом перерегулирование составляет не более 6-7%.

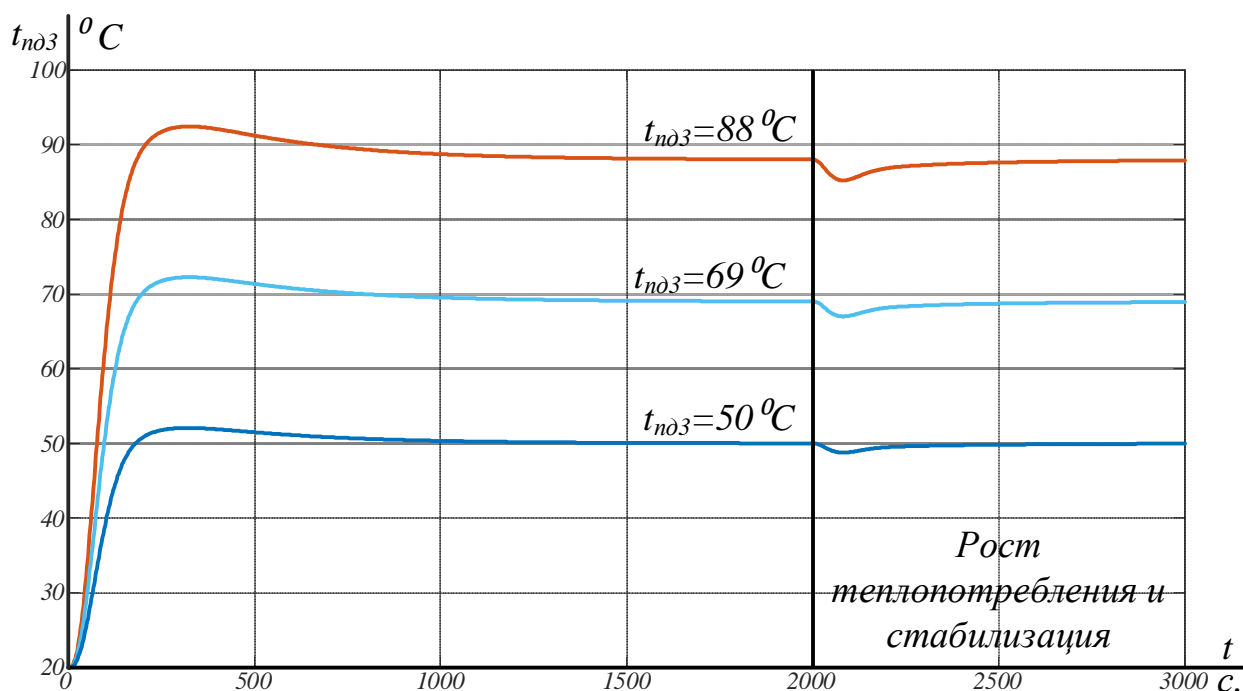


Рисунок 20 – Регулировочные характеристики температуры котла с ПИД регулятором

В результате проведенных исследований было выяснено, что применённая методология в упрощении модели второго порядка, подключении и настройке ПИД регулятора, работает для существующей системы. Подобный подход реализован впервые в этом и заключается научная новизна.

Время переходных процессов составляет порядка 1000 с. Для различных котлов время может быть разным, но для отработки алгоритма по выбору оптимального отношения воздушного потока модель подходит. Так как теперь известен период флуктуирования и, следовательно, в какие моменты проводить измерения температуры.

Благодаря данной модели можно получить правильный алгоритм измерения мощности котла при изменении отношения воздушных потоков на пиролиз и дожигание ( $Q_P/Q_A$ ). Алгоритм позволит получить поверхность мощностей в плоскостях  $Q_P/Q_A$ . Имея аппроксимацию поверхности можно найти оптимальное соотношение потоков  $Q_P/Q_A$ .

То есть имея алгоритм по поиску мощности при изменении отношения воздушных потоков, контроллер в котором этот алгоритм реализован и котёл, измеряя мощность в точках равновесного состояния можно получить массив данных и далее с помощью средств нечеткой логики можно получить так называемую поверхность мощностей.

Для конкретного котла на заполнение экспертной карты может потребоваться не один месяц. После того как экспертная карта заполнена, котёл может работать на наиболее энергоэффективных точках работах, имея максимальный коэффициент полезного действия.

Судить о мощности котла вырабатываемой можно косвенно по датчикам температуры, достаточно знать разность температур, на выходе и входе котла, помноженную на коэффициент теплоносителя объём которого не изменяется. За максимальную вырабатываемую мощность следует принять мощность при отсутствии потребления энергии со стороны ГВС и отопления.

В этом разделе была представлена идея, по косвенной оценке, энергоэффективности котла, разработана модель пригодная для отработки алгоритма подбора оптимального соотношения воздушных потоков. Представленная идея имеет существенный недостаток, датчики газа, которые предлагается заменить температурными датчиками работают в режиме реального времени и судят о эффективности горения очень быстро, а предлагаемое решение будет иметь очень малое быстроедействие, так как для оценки эффективности горения понадобится стабилизация температуры, которая будет происходить в течении длительного времени.

## 4. Получение карты экспертных оценок и поверхности мощностей

Процесс управления эффективностью горения без датчиков газа в обратном дымоходе является обширным и проблемным, однако наиболее просто его можно организовать с помощью экспертных оценок.

Для реализации алгоритма подбора эффективного соотношения воздушных потоков с помощью датчиков температуры, которые косвенно вычисляют вырабатываемую мощность, необходимо иметь поверхность экспертных мощностей в плоскостях  $Q_P/Q_A$  по которой система управления будет подбирать необходимый воздушный поток.

Поиск экспериментальной поверхности мощностей для реальной установки можно осуществить на основании экспертных оценок (Таблица 4), полученных у специалиста, который работает с пиролизными котлами.

Таблица 4 – Карта экспертных оценок мощности горения котла при различных соотношениях потоков воздуха

<b>100</b>	0	100	95	90	85	80	75	70	65	60	55
<b>90</b>	0	90	86	81	77	73	69	64	60	56	52
<b>80</b>	0	80	77	73	70	66	63	59	56	52	49
<b>70</b>	0	70	68	65	62	59	57	54	51	48	56
<b>60</b>	0	61	59	57	55	53	51	49	47	45	43
<b>50</b>	0	51	50	48	48	46	45	43	42	41	40
<b>40</b>	0	41	41	40	40	39	39	38	38	37	37
<b>30</b>	0	31	32	32	32	32	33	33	33	33	34
<b>20</b>	0	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
<b>10</b>	0	12	14	15	18	19	21	22	24	26	28
<b>0</b>	0	2	5	8	10	13	15	18	20	23	25
<b><math>Q_A/Q_P</math></b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>70</b>	<b>80</b>	<b>90</b>	<b>100</b>

На основании экспертных оценок и средств нечеткой логики программной среды *MatLab Simulink*, получена математическая модель предполагаемой поверхности мощностей (Рисунок 21), которую в теперь в дальнейшем можно идентифицировать и подстраивать для реального объекта исследований.

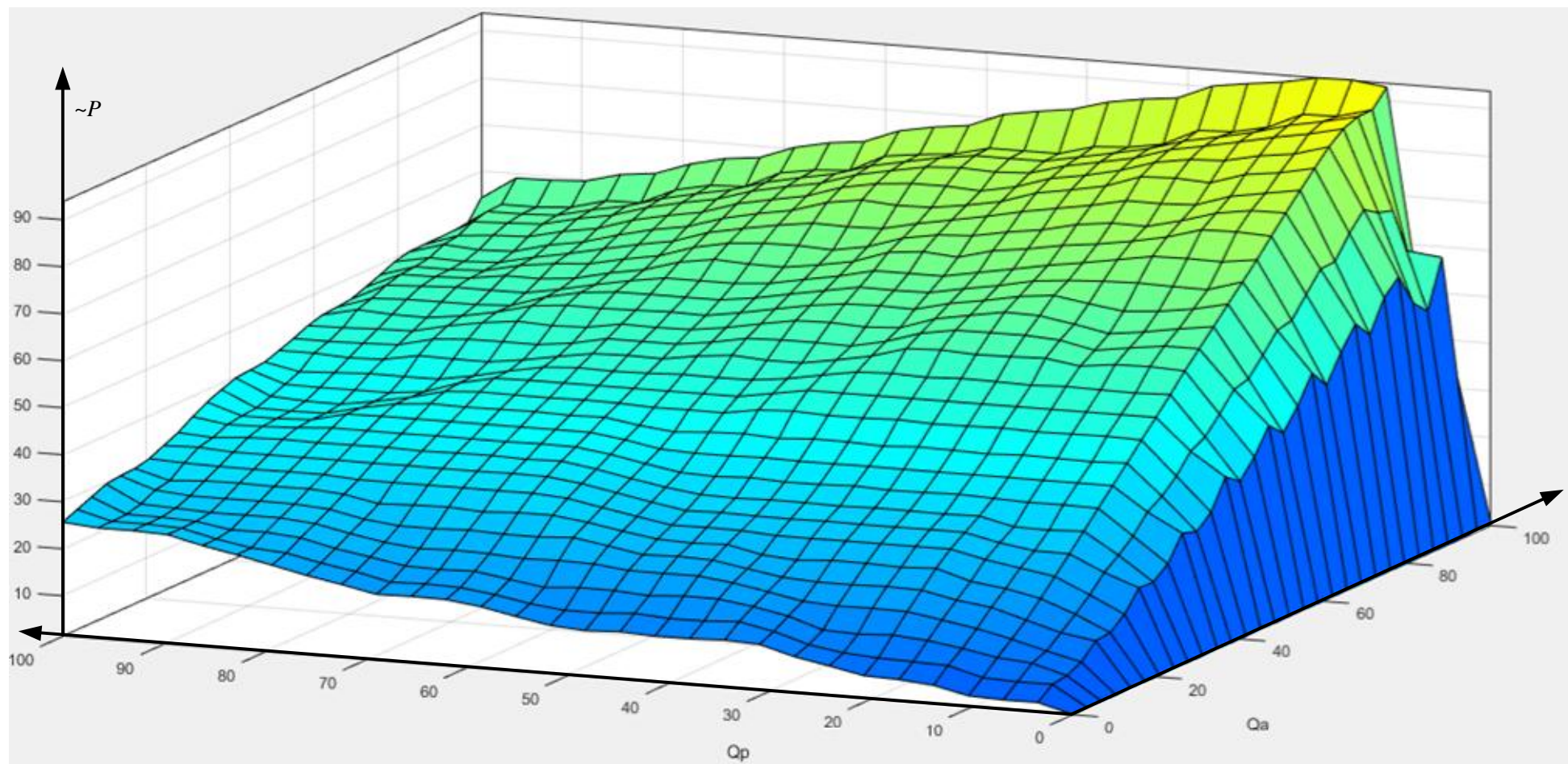


Рисунок 21 - Математическая модель предполагаемой поверхности мощностей

Имея данную предполагаемую поверхность можно написать алгоритм, который позволит найти экспериментальную поверхность. Изменяя соотношение воздуха в течении работы котла и косвенно оценивая его мощность с помощью датчиков температуры можно получить массив данных о зависимости мощности от соотношения воздушных потоков. Далее при внесении данных полученных с помощью эксперимента на карту экспертных оценок можно получить поверхность наиболее точно описывающую зависимость мощности от воздушных потоков для реальной установки.

Все это в свою очередь является предметом будущих исследований, которые могут дать качественный алгоритм, оптимальной подачи воздуха для получения требуемой мощности.

## 5. Заключение

В ходе выполнения работы был проведен литературный обзор по рассматриваемой тематике, в котором был рассмотрен принципы работы пиролизного котла, достоинства и недостатки, опыт отечественных и зарубежных авторов и предлагаемые ими решения.

В работе была представлена идея, по косвенной оценке, вырабатываемой мощности пиролизного котла и подборе оптимального соотношения воздушных потоков.

Была получена модель теплообменной системы с пиролизным котлом и синтезирован ПИД регулятор для данной системы. Было установлено что примененная методология в упрощении модели второго порядка, подключении и настройке ПИД регулятора, работает для рассматриваемой системы

Полученная модель пригодна для дальнейших исследований, например, для отработки алгоритма по подбору оптимального соотношения воздушных потоков.

Так же были получены переходные процессы температуры после накопительного бака при увеличении теплопотребления, сделаны выводы о том, что представленная имитационная модель и система управления для нее адекватны.

На основании экспертных оценок получена математическая модель поверхности мощностей пиролизного котла, модель так может быть применена для дальнейших исследований и реализации алгоритма подбора эффективного соотношения воздушных потоков.

## **6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **Введение**

В данной выпускной квалификационной работе по теме: «Система управления котлом пиролизного горения», разрабатывается динамическая модель пиролизного котла и предлагается алгоритм управления котлом без датчика газа в обратном дымоходе.

Предлагаемый алгоритм управления поможет существенно удешевить котлы пиролизного горения, сделать их более конкурентоспособными и привлекательными как для промышленного производства, так и для частного использования.

В разработке данной темы заинтересованы предприятия и частные лица, не имеющие свободного доступа к газовым магистралям и системам централизованного отопления по тем или иным причинам, и имеющие при этом свободный доступ к органическому (древесному) топливу.

### **6.1. Потенциальные потребители результатов исследования**

Наиболее значимыми критериями сегментирования рынка потребителей являются: 1) Наличие системы микропроцессорного управления котлом (с датчиком газа в обратном дымоходе или без него) 2) Локализация установки котла (предприятия, имеющие в своем распоряжении органические отходы, места, удаленные от газовых магистралей, жилые дома, дачи, бани, сауны)

В данной работе максимальные усилия направлены на сегмент рынка где имеется очень низкая конкуренция, а именно - газогенераторные котлы без датчика газа в дымоходе расположенные в местах удаления от газовых магистралей и имеющих в своем распоряжении органическое топливо.

Так же следует учесть, что предлагаемое решение (которое позволит избавиться от части дорогостоящих комплектующих в котле) позволит повысить конкурентоспособность котла на рынке.



## 6.2. Технология QuaD

*Технология QuaD* (Quality Advisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

В основе технологии QuaD лежит нахождение средневзвешенной величины следующих групп показателей:

1) Показатели оценки коммерческого потенциала разработки:

- влияние нового продукта на результаты деятельности компании;
- перспективность рынка;
- пригодность для продажи;
- перспективы конструирования и производства;
- финансовая эффективность.
- правовая защищенность и др.

2) Показатели оценки качества разработки:

- динамический диапазон;
- вес;
- ремонтпригодность;
- энергоэффективность;
- долговечность;
- эргономичность;
- унифицированность;
- уровень материалоемкости разработки и др.

Показатели оценки качества и перспективности новой разработки подбираются исходя из выбранного объекта исследования с учетом его технических и экономических особенностей разработки, создания и коммерциализации.

Для упрощения процедуры проведения *QuaD* оценка проводится в табличной форме (таблица 5).

Таблица 5 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)x100
1	2	3	4	5	
<b>Показатели оценки качества разработки</b>					
1. Повышение производительности труда пользователя	0,08	75	100	0,75	6
2. Удобство в эксплуатации	0,11	90	100	0,9	9,9
3. Помехоустойчивость	0,03	85	100	0,85	2,55
4. Энергоэкономичность	0,11	85	100	0,85	9,35
5. Надежность	0,06	92	100	0,92	5,52
6. Уровень шума	0,03	75	100	0,75	2,25
7. Безопасность	0,01	75	100	0,75	0,75
8. Потребность в ресурсах памяти	0,02	70	100	0,7	1,4
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,04	80	100	0,8	3,2
10. Простота эксплуатации	0,04	93	100	0,93	3,72
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,05	91	100	0,91	4,55
12. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,06	95	100	0,95	5,7
<b>Показатели оценки коммерческого потенциала разработки</b>					
1. Конкурентоспособность продукта	0,04	85	100	0,85	3,4
2. Уровень проникновения на рынок	0,04	65	100	0,65	2,6
3. Цена	0,1	60	100	0,6	6
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	90	100	0,9	6,3
5. Послепродажное обслуживание	0,03	85	100	0,85	2,55
6. Финансирование научной разработки	0,05	73	100	0,73	3,65
7. Срок выхода на рынок	0,03	66	100	0,66	1,98
8. Наличие сертификации разработки	0,04	75	100	0,75	3
<b>Итого</b>	<b>1</b>				<b>84,37</b>

Оценка качества и перспективности по технологии *QuaD* определяется по формуле:

$$П_{cp} = \sum B_i \cdot B_i = 0,08 \cdot 0,75 \cdot 100 + \dots + 0,04 \cdot 0,75 \cdot 100 = 84,37$$

где  $П_{cp}$  – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – средневзвешенное значение  $i$ -го показателя.

Значение  $П_{cp}$  получилось равным 84,37, что говорит о том, что данная разработка является перспективной.

### 6.3. SWOT-анализ

**SWOT** – *Strengths* (сильные стороны), *Weaknesses* (слабые стороны), *Opportunities* (возможности) и *Threats* (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Для проведения *SWOT*-анализа составляется матрица *SWOT*, в которую записываются слабые и сильные стороны проекта, а также возможности и угрозы.

Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону проекта.

Слабые стороны – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей.

Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта.

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем. Матрица *SWOT* приведена в таблице 3.

Таблица 6 - Матрица SWOT

	<b>Сильные стороны проекта:</b> С1. Более высокий КПД по сравнению с обычными котлами С2. Отсутствие вредных выбросов в атмосферу С3. Упрощенный и удешевленный вариант котла С4. Для эксплуатации квалифицированный персонал не требуется	<b>Слабые стороны проекта:</b> Сл1. Сложность ремонта некоторых частей оборудования Сл2. Несмотря на удешевление, котёл все равно остается дорогим Сл3. Сложность монтажа электрооборудования
<b>Возможности:</b> В1. Гос. поддержка, можно выиграть финансирование на программу по утилизации мусора В2. Активное содействие в научных исследованиях со стороны иностранных учёных В3. Повышение стоимости конкурентных разработок В4. Рост цен на другие виды органического топлива	В1С2 В2С2С3 В3С1С2С3 В4С1С3	В2Сл2 В3Сл1
<b>Угрозы:</b> У1. Отсутствие спроса на технологию в местах с магистральным газом У2. Высокая конкуренция со стороны производителей автоматизированных котлов У3. Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции У4. Угроза выхода из строя оборудования при неправильной эксплуатации	У1С1С2С3С4 У2С2С3 У3С2С4 У4С3С4	У1Сл1Сл2 У2Сл1 У3Сл1 У4Сл1Сл3

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения:

С – сильные стороны проекта;

Сл. – слабые стороны проекта;

В – возможности;

У – угрозы;

«+» – сильное соответствие;

«-» – слабое соответствие.

Таблица 7 – Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта				
		C1	C2	C3	C4
	B1	-	+	-	-
	B2	-	+	+	-
	B3	+	+	+	-
	B4	+	-	+	-
	Слабые стороны проекта				
		Сл1	Сл2	Сл3	
	B1	-	-	-	
	B2	-	+	-	
	B3	+	-	-	
	B4	-	-	-	

Таблица 5 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта				
		C1	C2	C3	C4
	У1	+	+	+	+
	У2	-	+	+	-
	У3	-	+	-	+
	У4	-	-	+	+
	Слабые стороны проекта				
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	+	+	-	-
	У2	+	-	-	-
	У3	+	-	-	-
	У4	+	-	+	-

В результате проведения SWOT-анализа были выявлены как сильные, так и слабые стороны технического проекта. Данный технический проект имеет несколько важных преимуществ, таких как внедрение продукта на мировой уровень, в различные технологические процессы, которые обеспечат повышение производительности, безопасности и надежности. Так же установлен недостаток – сложность монтажа, который может повлиять на дальнейшее использование продукта.

#### **6.4. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований**

В предыдущем разделе были описаны методы, которые позволяют выявить и предложить возможные альтернативы проведения исследования и доработки результатов. К их числу относятся технология QuaD, оценка конкурентных инженерных решений, SWOT-анализ. К ним можно добавить ФСА-анализ, метод Кано. Однако, в большей степени все приведенные методы ориентированы на совершенствование результатов научного исследования, находящегося на стадии создания макета, модели системы, прототипа, конечного продукта. Если разработка находится на перечисленных стадиях жизненного цикла нового продукта, можно предложить не менее трех основных вариантов совершенствования разработки или основных направлений научного исследования.

Разработка относится к вышеописанным стадиям, поэтому нет необходимости использовать морфологический подход.

#### **6.5. Планирование научно-исследовательских работ**

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Составляется перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проводится распределение исполнителей по видам работ. Результаты представлены в таблице 8.

Таблица 8 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель проекта
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Исполнитель проекта
	3	Описание объекта автоматизации (модернизации)	Исполнитель проекта
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель проекта
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Разработка структурной схемы ЭП	Исполнитель совместно с руководителем
	6	Расчет параметров модели	Исполнитель проекта
	7	Выбор способа регулирования	Исполнитель совместно с руководителем
	8	Расчет предельных характеристик теплообменной системы	Исполнитель проекта
	9	Разработка математической модели системы АУ ЭП	Исполнитель совместно с руководителем
	10	Оптимизация САР электропривода	Исполнитель проекта
	11	Разработка программы имитационного моделирования	Исполнитель проекта
Обобщение и оценка результатов	12	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель проекта

### 6.6. Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5} \quad (1)$$

$t_{\text{min}i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\text{max}i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{p_i} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i} \quad (2)$$

где  $T_{p_i}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{\text{ож}i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

## 6.7. Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.



**Диаграмма Ганта** – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (3)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (4)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{ki}$  необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения сводятся в таблицу (таблица 9).

Пример расчета (составление и утверждение технического задания):

$$t_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot t_{\text{min}} + 2 \cdot t_{\text{max}}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \approx 2 \text{ чел} - \text{дней};$$

$$T_p = \frac{t_{\text{ож}}}{\text{ч}} = \frac{2}{1} = 2 \text{ дня};$$

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 116 - 14} = 1,553;$$

$$T_k = T_p \cdot k_{\text{кал}} = 2 \cdot 1,553 = 3,106 \approx 4 \text{ дня}.$$

Таблица 9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$		Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$	
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ожi}$ , чел-дни					
	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель
Составление и утверждение технического задания	1		2		2		2		4	
Подбор и изучение материалов по теме		5		8		7		7		11
Описание объекта модернизации		3		4		4		4		7
Календарное планирование работ по теме	3		5		4		4		7	
Разработка структурной схемы ЭП		4		9		6		6		10
Расчет параметров модели		4		6		5		5		8
Выбор способа регулирования		2		4		8		8		12
Расчет предельных характеристик теплообменной системы		2		4		3		3		5
Разработка математической модели системы АУ ЭП	3		6		5		5		8	
Оптимизация САР электропривода		4		8		6		6		10
Разработка программы имитационного моделирования		5		8		7		7		11
Оценка эффективности полученных результатов	2		3		3		3		5	
Технико-экономические расчеты		3		7		5		5		8
Вопросы безопасности и экологичности проекта		3		7		5		5		8
Составление пояснительной записки		1		3		2		2		4

Опираясь на данные таблицы 9, строим календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделяем различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 10 - Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	$T_{ki}$ , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				фев.		март			апрель			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4														
2	Подбор и изучение материалов по теме	Исполнитель	11														
3	Описание объекта модернизации	Исполнитель	7														
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	7														
5	Разработка структурной схемы ЭП	Исполнитель	10														
6	Расчет параметров модели	Исполнитель	8														
7	Выбор способа регулирования	Исполнитель	12														
8	Расчет предельных характ. ТОС	Исполнитель	5														
9	Разработка математической модели системы АУ ЭП	Руководитель	3														
10	Оптимизация САР электропривода	Исполнитель	10														
11	Разработка программы имитационного моделирования	Исполнитель	11														

12	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	2		
13	Технико- экономические расчеты	Исполнитель	8		
14	Вопросы безопасности и экологичности проекта	Исполнитель	8		
15	Составление пояснительной записки	Исполнитель	4		
	Общее время на проект	111			
	Время работы исполнителя	95			
	Время работы руководителя	16			

## 6.8. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

Все необходимое оборудование и материалы имеются в лаборатории, поэтому расчет материальных затрат проводить не будем.

## 6.9. Затраты на специальное программное среду для научных работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального ПО, необходимого для проведения работ по конкретной теме. В таблице 11. представлен расчет бюджета затрат на приобретение ПО для научных работ.

Таблица 11 - Расчет бюджета затрат на приобретение ПО для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб
1	Программное электронное устройство (компьютер)	1	18000 руб.	18000 руб.
2	Лицензия программы «MatLab»	1	21000 руб.	21000 руб.
ИТОГО				39000 руб.

### 6.10. Основная заработная плата

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (8)$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата;

$З_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $З_{осн}$ ).

Основная заработная плата ( $З_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p, \quad (9)$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 9);

$З_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d},$$

где  $З_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

- при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 12).

Таблица 12 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	14	14

Потери рабочего времени		
- отпуск	38	38
- невыходы по болезни	14	14
Действительный годовой фонд рабочего времени	247	247

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{TC} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p$$

где  $Z_{mc}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{np}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_{mc}$ );

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от  $Z_{mc}$ );

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата  $Z_{mc}$  находится из произведения тарифной ставки профессора  $T_{cn} = 300$  руб. на тарифный коэффициент  $k_m$  и учитывается по единой для бюджетной организации тарифной сетке. Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии. Расчёт основной заработной платы приведён в табл. 13.

Таблица 13 - Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_b$ , руб./мес.	$k_p$	$Z_m$ , руб./мес.	$Z_{он}$ , руб./день	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн.}$ , руб.
Исполнитель	2400	1,3	4680	197	130	25610
Руководитель						7200
Итого:						32810

### **6.11. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала**

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,12 \cdot 25610 = 3073,2 \text{ руб}$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

### **6.12. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)**

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,271 \cdot (25610 + 3073,2) = 7773,14 \text{ руб}$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). Данный коэффициент составляет 27,1% от затрат на компенсацию трудозатрат в целях хоздоговора.

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представлять в табличной форме (таблица 14).



Таблица 14 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	7200	
Исполнитель проекта	25610	3073,2
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Итого		
Руководитель	1951,2	
Исполнитель	7773,14	

### 6.13. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}}) \cdot 0,16 = \\ = (25610 + 3073,2 + 7773,14) \cdot 0,16 = 5833$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

### 6.14. Амортизация

Амортизация — это процесс периодического переноса начальной стоимости основного средства или нематериального актива на производственные, коммерческие или общехозяйственные расходы — в зависимости от того, как этот актив используется. В данной работе для разработки системы управления использовался компьютер, поэтому целесообразно будет рассчитать его амортизацию

Величина амортизации рассчитывается по следующей формуле:

$$A_k = \frac{C_k \cdot T_u}{T_c \cdot 365} = \frac{18000 \cdot 458}{5 \cdot 365} = 4517 \text{ руб}$$

Где  $C_k$  – стоимость компьютера, руб;

$T_u$  – время использования в днях;

$T_c$  – заложенный срок службы в годах.

### **6.15. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта**

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 15.

Таблица 15 - Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	%
1. Материальные затраты	39000	41
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	32810	34,5
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	3073,2	3
4. Отчисления во внебюджетные фонды	9724,34	10,2
5. Накладные расходы	5833	6,2
6. Амортизация	4517	5,1
7. Итого	94957,54	100 %

### **6.16. Оценка конкурентоспособности и ресурсоэффективности проекта**

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики проекта;
- конкурентоспособность проекта;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа, модели и т.п.);
- бюджет разработки и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку

сравнительной эффективности научного проекта и определить направления для его будущего повышения и реализации.

Для оценки ресурсоэффективности проекта были подобраны критерии эффективности такие как: экономичность, безопасность, обеспечение надлежащего качества и надежности прибора, сфера применения и удобство использования.

1. Экономичность - оптимизация затрат на электрическую часть предприятия на стадии проектирования приводит к их уменьшению на доли процентов, в абсолютном же измерении речь идет об экономии значительных средств.

2. Под обеспечением надлежащего качества и надежности прибора понимается поставка потребителю нового, неизношенного прибора с допустимыми показателями его качества и исключения ситуаций, опасных для людей и окружающей среды.

3. Безопасность - это свойство прибора сохранять с некоторой вероятностью безопасное состояние при выполнении заданных функций в условиях, установленных нормативно-технической документацией.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 16.

Таблица 16 - Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки	Конкурентоспособность
1. Качество и надежность исполнение	0,25	5	1,25
2. Сфера применения и удобство использования	0,25	5	1,25
3. Безопасность	0,3	5	1,5
4. Экономичность	0,2	4	0,8
Итого:	1,00		4,8

Позиция оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Значения показателей, определяемые экспертным путем, в сумме составляют 1.

Анализ конкурентоспособности проекта определяется согласно выражению:

$$K = \sum B_i \cdot B_i,$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки;  $B_i$  – вес показателя (в долях единицы);  $B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Тогда

$$K_{k\Sigma} = 0,25 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 = 4,8$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы качества, надежности и безопасности позволяют судить о надежности системы.

Из всего вышеперечисленного можно сделать вывод о том, что реализация данного технического проекта позволяет увеличить эффективность прибора.

## **7. Социальная ответственность**

### **Введение**

В данной выпускной квалификационной работе по теме: «Система управления котлом пиролизного горения», разрабатывается динамическая модель пиролизного котла и предлагается алгоритм управления котлом без датчика газа в обратном дымоходе.

Предлагаемый алгоритм управления поможет существенно удешевить котлы пиролизного горения, сделать их более конкурентоспособными и привлекательными как для промышленного производства, так и для частного использования.

В разработке данной темы заинтересованы предприятия и частные лица, не имеющие свободного доступа к газовым магистралям и системам централизованного отопления по тем или иным причинам, и имеющие при этом свободный доступ к органическому (древесному) топливу.

Работа реализуется в помещении на персональном компьютере, на данном компьютере производится имитационное моделирование, выполняются расчёты, оформляются результаты моделирования.

## **7.1. Профессиональная социальная безопасность**

### **7.1.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать алгоритм управления пиролизным котлом**

Объект исследования представляет из себя алгоритм управления котлом пиролизного горения, то есть подразумевает работу с информационными источниками, такими как нормативно техническая литература, научные статьи, государственные стандарты, также в процессе работы происходит разработка математических, имитационных моделей и анализ данных полученных в ходе эксперимента. Следовательно, можно сделать вывод о том, что объект исследования (алгоритм) сам по себе не создаёт вредных и опасных факторов.

### **7.1.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в помещении при проведении исследований**

В данном подразделе представлен анализ вредных и опасных факторов которые могут возникнуть в помещении при проведении исследований алгоритма.

Таблица 17 – Опасные и вредные факторы при проведении исследований

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа за персональным компьютером	1. Повышенная влажность воздуха 2. Пониженная подвижность воздуха 3. Отсутствие или недостаток естественного света 4. Недостаточная освещенность рабочей зоны 5. Повышенная пульсация светового потока 6. Физические перегрузки (статические) 7. Нервно-психические перегрузки	8. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	СП 60.13330.2012[37] СанПиН 2.1.2.1002-00[38] ГОСТ 30494-2011[39] СанПиН 2.2.4.548–96[40] СанПиН 2.1.2.2645-10[41] СП 52.13330.2016[42] СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03[44] СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03[45] ТОИ Р-45-084-01[46]

### 7.1.2.1. Повышенная влажность воздуха

Повышенная влажность воздуха возникает в результате плохой вентиляции помещения, сырости цокольных помещений, которые передают влагу наверх, несоблюдения норм, установленных в нормативной документации.

Согласно цифрам, приведённым в приложении СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование», холодный (зима) и переходный (весна и осень) период – оптимальная влажность 30...45%, если период года тёплый (лето) оптимальная влажность 30...60% [37].

Таблица 18 – оптимальные уровни температуры, влажности и скорости движения воздуха в зоне жилых, общественных и административно-бытовых помещений

Период года	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с, не более
Тёплый	20-22	60-30	0,2
	23-25	60-30	0,3
Холодный и переходные условия	20-22	45-30	0,2
Примечание. Уровни приняты для граждан, которые находятся в помещении более 2 ч.			

Подобная таблица только в более развернутом виде приведена в СанПиН 2.1.2.1002-00 «Санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям». Приемлемая влажность в том помещении, где отсутствует принудительная система вентиляции воздуха, поддерживается с помощью регулярных проветриваний [38].

Согласно ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях», в жилых домах не допускается превышение влажности воздуха более 60%, а оптимальный уровень влажности должен быть не более 45% [39].

### 7.1.2.2. Пониженная подвижность воздуха

Пониженная подвижность воздуха возникает в сильно герметичном помещении при отсутствии регулярных проветриваний. Нормируется данный показатель по СанПиН 2.2.4.548 – 96 «Гигиенические требования к микроклимату помещений» [40].

В зависимости от сезона года и категории выполняемых работ допустимое значение скорости движения воздуха немного отличается, в теплое время года допускается более интенсивное движение воздуха.

Скорость движения воздуха оказывают существенное воздействие на производительность человека, его самочувствие и здоровье. При определенных значениях работник ощущает состояние комфорта, что приводит к повышению производительности, предупреждению простудных заболеваний. При этом неблагоприятный уровень скорости движения воздуха может стать причиной снижения производительности в работе, привести к различным заболеваниям верхних дыхательных путей.

Таблица 19 – Допустимые нормы скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений

Сезон года	Категория тяжести выполняемых работ	Скорость движения воздуха, м/сек	
		Оптимальное значение	Допустимое значение
1	2	7	8
Холодный	1a	0,1	0,1
Теплый	1a	0,1	0,1-0,2

### 7.1.2.3. Отсутствие или недостаток естественного света и недостаточная освещенность рабочей зоны

Освещенность оказывает влияние на физическое состояние индивидуума, правильно спроектированное освещение усиливает течение процессов в высшей нервной деятельности и повышает производительность. При плохом свете человек работает менее продуктивно, быстрее утомляется, возрастает возможность неправильных поступков, это может привести к травмам и возникновению чрезвычайных ситуаций. В зависимости от интенсивности, свет



может оказывать возбуждающее (оранжево-красный) или успокаивающее (желто-зеленый) действие.

СанПиН 2.1.2.2645-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях» регулирует нормы для естественного освещения в жилых зданиях и помещениях [41].

В СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение», которое является актуализированной редакцией СНиП 23-05-95, устанавливаются нормы для производственных и жилых общественных зданий. Освещенность нормируется в зависимости от таких параметров как: точность зрительной работы, относительная продолжительность работы, разряд зрительной работы, и так далее [42].

#### **7.1.2.4. Повышенная пульсация светового потока**

Энцефалограмма человека с характерным пиком на частоте пульсирующего освещения еще с 60-х годов публиковалась как доказательство вредного действия пульсаций освещенности на нервную систему.

Сегодня же, по мнению нейрофизиологов, навязывание нервной системе высокочастотного дополнительного ритма повредить не может. Картинка всего лишь показывает восприимчивость нервной системы к пульсациям освещенности.

Однако, при длительной напряженной зрительной работе выраженные пульсации освещения действительно вредны, так как мешают движению взгляда. Могут утомлять зрение, вызывать головную боль [43].

Нормы пульсаций в зданиях различного типа следующие:

- в помещениях, оборудованных компьютерами — не более 5% [44];
- в учреждениях общего образования, начального, среднего и высшего специального образования — 10% [45].

### **7.1.2.5. Физические и нервно-психические перегрузки**

Для того что бы избежать переутомления вследствие продолжительной работы за персональным компьютером следует чередовать работу с перерывами на отдых.

Согласно типовой инструкции по охране труда при работе на персональном компьютере организация работы производится в зависимости от вида и категории трудовой деятельности. [46]

Трудовая деятельность подразделяются на несколько групп:

- работа по считыванию информации с экрана монитора с предварительным запросом, отнесена к группе А;
- работа по вводу информации – к группе Б;
- творческая работа в режиме диалога с ПЭВМ – к группе В.

При выполнении в течение рабочего дня работы, относящейся к различным категориям трудовой деятельности, за основную работу с персональным компьютером принимают такую, которая занимает не менее половины времени в течении рабочего дня.

Для видов трудовой деятельности устанавливается три категории тяжести работы с персональным компьютером. Самые тяжёлые значения соответствуют третьей категории работы с персональным компьютером, их значения определяются:

- для группы А – по суммарному числу считываемых знаков за рабочую смену, но не более 60 000 знаков за смену;
- для группы Б – по суммарному числу считываемых или вводимых знаков за рабочую смену, но не более 40 000 знаков за смену;
- для группы В – по суммарному времени непосредственной работы с персональным компьютером за рабочую смену, но не более 6 ч за смену.

Рекомендуемое суммарное время регламентированных перерывов в зависимости от категории трудовой деятельности и уровня нагрузки за рабочую смену при работе с ПЭВМ приведено в таблице 20.

Таблица 20

Категория работы с ПЭВМ	Уровень нагрузки за рабочую смену при видах работ с ПЭВМ			Суммарное время регламентированных перерывов, мин	
	группа А, количество знаков	группа Б, количество знаков	группа В, ч	при 8- часовой смене	при 12-часовой смене
I	до 20 000	до 15 000	до 2	50	80
II	до 40 000	до 30 000	до 4	70	110
1	до 60 000	до 40 000	до 6	90	140

#### **7.1.2.6. Опасность поражения электрическим током**

В процессе использования персонального компьютера может возникнуть опасность поражения электрическим током. Действия, которые производит электрический ток, проходя через организм человека:

- а) термическое действие;
- б) электролитическое действие;
- в) механическое действие;
- г) биологическое действие.

По опасности поражения током офисный кабинет относится к помещениям без повышенной опасности, т.к. характеризуется отсутствием условий, создающих повышенную или особую опасность.

#### **7.1.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов**

Для профилактики неблагоприятного влияния повышенной влажности и малой подвижности воздуха должны быть использованы предупредительные мероприятия, например, системы местного кондиционирования воздуха, регулярное проветривание помещений, регламент времени работы и т.д. Профилактика сырости в помещениях. Так же борьба с высокой влажностью воздуха в помещениях заключается в соблюдении установленных

гигиенических норм кубических объёмов воздуха на одного человека, благоустройстве систем вентиляции и систем отопления, гидроизоляции стен и полов здания от грунтовых вод и запрете производить в жилых помещениях какие-либо работы, связанные с образованием сырости. [47]

К способам снижения пульсаций света можно отнести:

- подключение ламп в разные фазы трехфазной сети;
- питание двух ламп в светильнике со сдвигом (одну индуктивным током, другую емкостным), для чего в светильник устанавливают пускорегулирующую аппаратуру;
- использование освещения, где лампы должны подключаться в переменный ток частотой 400 Гц и выше;
- демонтаж установленных ранее светильников, оснащенных электромагнитной пускорегулирующей аппаратурой, и установка на её место других светильников, оснащенных электронной пускорегулирующей аппаратурой;
- оставить действующие светильники (если они соответствуют требованиям п. 6.6, 6.7 и 6.10 [44]), демонтировать из них электромагнитную пускорегулирующую аппаратуру и установить на их место электронную). [48]

В случае если фактическое освещение помещения меньше нормированного. Пути решения проблемы, следующие: изменение характеристик окна (замена двойного остекления одинарным, замена переплетов), изменение расстановки рабочих мест (уменьшение удаленности от окна). Проблема с искусственным освещением решается путем замены ламп на более мощные, комбинировании ламп накаливания и светодиодных ламп. [49]

Для предупреждения преждевременной утомляемости пользователей ПЭВМ рекомендуется организовывать рабочую смену путем чередования работ с использованием ПЭВМ и без него.

В случаях, когда характер работы требует постоянного взаимодействия с компьютером (набор текстов или ввод данных и т.п.) с напряжением внимания и сосредоточенности, при исключении возможности периодического

переключения на другие виды трудовой деятельности, не связанные с ПЭВМ, предлагается осуществлять перерывы на 10-15 мин. через каждые 45-60 мин. работы. Продолжительность непрерывной работы без регламентированного перерыва не должна превышать 1 часа.

При работе с ПЭВМ в ночную смену (с 22:00 до 6:00) независимо от категории и вида трудовой деятельности продолжительность регламентированных перерывов желательно увеличивать на 30%.

Во время регламентированных перерывов с целью снижения нервно-эмоционального напряжения, утомления зрительного анализатора, устранения влияния гиподинамии и гипокинезии, предотвращения развития позотонического утомления целесообразно выполнять комплексы упражнений, которые приведены в Приложениях 8-10 [44]:

- комплексы упражнений для глаз (Приложение 8 [44]);
- комплексы упражнений физкультурных минуток (Приложение 9 [44]):
  - для общего воздействия;
  - для улучшения мозгового кровообращения;
  - для снятия утомления с плечевого пояса и рук;
  - для снятия утомления с туловища и ног;
- комплексы упражнений физкультурных пауз (Приложение 10 к [44]).

Чтобы исключить опасность поражения необходимо соблюдать следующие правила электробезопасности:

- перед включением компьютера в сеть должна быть визуально проверена его электропроводка на отсутствие возможных видимых нарушений изоляции;
- при появлении признаков замыкания необходимо немедленно отключить от электрической сети устройство и устранить неисправность;
- запрещается при включенном устройстве одновременно прикасаться к приборам, имеющим естественное заземление;
- запрещается эксплуатация оборудования в помещениях с повышенной опасностью;

– штепсельную вилку включать и выключать из розетки можно только при выключенном устройстве [50].

## **7.2. Экологическая безопасность.**

В данном подразделе рассматривается характер воздействия разрабатываемого алгоритма на окружающую среду. Сам алгоритм не может нарушить экологическую безопасность окружающей среды. Однако, при разработке алгоритма и моделировании будут использованы компьютеры, офисная техника (принтеры, клавиатуры и т.д.), периферия. Для соблюдения экологической безопасности использование указанных устройств должно соответствовать требованиям нормативных документов.

### **7.2.1. Анализ влияния средств исследования на окружающую среду**

Источниками загрязнения окружающей среды при написании данной выпускной квалификационной работы будут являться персональный компьютер бумага на котором будет печататься пояснительная записка.

ЖК-экраны являются источниками парниковых газов. Применяемый для чистки ЖК-панелей трехфтористый азот ( $\text{NF}_3$ ) по сравнению с диоксидом углерода ( $\text{CO}_2$ )  $\text{NF}_3$  является в 17 000 раз более активным парниковым газом. Закона, который ограничивал бы уровень выброса  $\text{NF}_3$ , пока не существует [51].

Работающий компьютер деионизирует окружающую среду и уменьшает влажность воздуха. Ученые подсчитали, что сейчас, когда человечество выбрасывает в атмосферу огромное количество углекислого газа, 2% всех выбросов приходится на электронику. Когда серверу приходится работать, в окружающую среду выделяется очень большое количество тепла и углекислого газа [52].

ПВХ (поливинилхлорид) – разновидность пластика, применяемая в компьютерной периферии. Из него сделана внешняя оболочка кабелей, которыми соединяются устройства, он окружает электрический провод портативного компьютера. Поливинилхлорид практически невозможно

правильно утилизировать. В результате старый материал оказывается обычно на свалке с отходами или. При его сгорании образуется крайне вредный канцерогенный диоксин. [53]

Целлюлозно-бумажная промышленность является третьим по величине загрязнителем воздуха, воды и почвы – в эти компоненты среды попадают хлорсодержащие отбеливатели, которые используются в процессе производства бумаги. В результате разложения бумаги на свалке, выделяется опасный метан. Спасти часть бумаги может переработка. Но переработка не гарантирует полное сохранение окружающей среды, ведь бумагу нельзя перерабатывать вечно – макулатура выдерживает от семи до десяти циклов. К тому же постоянно есть потребность в первичной древесине, которую всегда добавляют к вторичной во время переработки. Именно поэтому важно сокращать потребление бумаги дома и в офисе. [54]

### **7.2.2. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды**

В первую очередь необходимо сократить выбросы парниковых газов, есть множество способов. Например, если все жители планеты будут меньше пользоваться автомобилями, экономить электроэнергию и создавать меньше отходов, человечество уменьшит его «углеродистый след», что поможет в борьбе с глобальным потеплением. [55]

Единственный способ правильно утилизировать ПВХ заключается в том, чтобы отправить его в центр опасных отходов. Утилизация и переработка пластмасс обходится недорого. Учитывая, что на выходе получается сырье, из которого можно изготавливать новые конструкции, утилизация – выгодное решение. Затраты на покупку оборудования рано или поздно окупаются, и оно начинает приносить реальную прибыль, что позволяет снизить стоимость готовых изделий, будь то пластиковые окна или подошвы для обуви [56].

Для уменьшения количества бумаги на свалке необходимо все бумажные отходы отправлять на переработку, стараться использовать бумагу повторно, использовать электронную почту для деловой переписки, хранить файлы и

заметки на электронных устройствах. Не пользоваться одноразовой бумажной посудой, она не перерабатывается. [50]

### **7.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

#### **7.3.1. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.**

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – обстановка на определенной территории или акватории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Различают чрезвычайные ситуации по характеру источника (природные, техногенные, биолого-социальные и военные) (Таблица 21) и по масштабам (локальные, местные, территориальные, региональные, федеральные и трансграничные) [57].

Таблица 21 – Примеры возможных чрезвычайных ситуаций по характеру источника

	<b>Природные</b>	<b>Техногенные</b>	<b>Биолого-социальные</b>	<b>Военные</b>
<b>Виды ЧС</b>	Землетрясение	Пожар	Эпидемия	Локальные конфликты
	Ураган	Авария на объектах промышленности	Эпизоотия	Конфликты с применением оружия массового поражения
	Наводнение	Транспортные аварии	Эпифитотия	Терроризм

Разработка и исследование созданного программного обеспечения непосредственно не может привести к возникновению ЧС. Однако, т.к. работа с программным обеспечением проводится в помещении (кабинет, офис, аудитория, лаборатория), насыщенным различными видами бытовой и офисной техники, наиболее вероятным видом техногенных ЧС является пожар.



Административные и офисные помещения не относятся к помещениям производственного и складского назначения, поэтому они не подлежат разделению на категории по пожарной и взрывопожарной опасности (согласно п.2 ст.27 №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности») [58]. Здания образовательных учреждений высшего профессионального образования относятся к классу Ф4.2 функциональной пожарной безопасности [59].

#### **7.3.1.1. Пожарная опасность**

Пожар – неконтролируемое горение, приводящее к ущербу. Пожарная безопасность объекта должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями. Объекты должны иметь системы пожарной безопасности, направленные на предотвращение воздействия на людей опасных факторов пожара, в том числе их вторичных проявлений, на требуемом уровне.

Опасными факторами пожара, воздействующими на людей и материальные ценности, являются:

- пламя и искры;
- повышенная температура окружающей среды;
- токсичные продукты горения и термического разложения;
- дым;
- пониженная концентрация кислорода.

К вторичным проявлениям опасных факторов пожара, воздействующим на людей и материальные ценности, относятся:

- осколки, части разрушившихся аппаратов, агрегатов, установок, конструкций;
- радиоактивные и токсичные вещества и материалы, вышедшие из разрушенных аппаратов и установок;

- электрический ток, возникший в результате выноса высокого напряжения на токопроводящие части конструкций, аппаратов, агрегатов;
- опасные факторы взрыва, происшедшего вследствие пожара;
- огнетушащие вещества.

Вероятность возникновения пожара от (в) электрического или другого единичного технологического изделия или оборудования при их разработке и изготовлении не должна превышать значения  $10^{-6}$  в год. Метод определения вероятности возникновения пожара от (в) электрических изделий приведен в приложении 5 [60].

### **7.3.2. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС.**

Пожарная профилактика - комплекс мероприятий, направленный на предупреждение пожаров и создание условий для предотвращения ущерба от них, и успешного их тушения.

Пожарная профилактика является составной частью технологических процессов производства, градостроительства, планировки и застройки сельских населенных мест. Организацией профилактики занимаются органы пожарного надзора.

Пожарная профилактика достигается:

- разработкой, внедрением и контролем за соблюдением пожарных норм и правил;
- ведением конструирования и планирования с учетом пожарной безопасности создаваемых объектов;
- совершенствованием и содержанием в готовности противопожарных средств;
- регулярным проведением пожарно-технических обследований предприятий, организаций, жилых и общественных зданий;
- пропагандой пожарно-технических знаний среди населения.

Обязательно следует разработать план эвакуации работников из помещений в случае возникновения пожара. В здании должна быть предусмотрена система оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ) 2-го типа (обязательно: звуковое оповещение, световые оповещатели «Выход»; допускается: световые мигающие оповещатели, эвакуационные знаки пожарной безопасности, указывающие направление движения) [61]. Также следует иметь средства пожаротушения, например, переносные огнетушители. Т.к. в помещениях находится много дорогой компьютерной техники, включенной в сеть, предпочтительнее использовать углекислотные огнетушители (типа ОУ-2).

### **7.3.3. Разработка порядка действия в случае возникновения ЧС**

В случае возникновения пожара необходимо:

- знать и строго выполнять правила пожарной безопасности;
- знать, где находятся, и уметь пользоваться средствами пожаротушения;
- знать и уметь правильно вызывать пожарную команду по телефону "01";
- знать, где или у кого находятся ключи от запасного выхода.

В случае возникновения пожара надо опасаться высокой температуры, задымленности и загазованности, обрушения конструкций зданий, взрывов оборудования и приборов. При спасании пострадавших и при тушении пожара необходимо соблюдать следующие правила:

- прежде чем войти в горящее помещение, накройтесь с головой мокрым покрывалом, пальто, плащом или куском плотной ткани;
- дверь в задымленное помещение открывайте осторожно, чтобы избежать вспышки пламени от быстрого притока свежего воздуха;
- в сильно задымленном помещении двигайтесь ползком или пригнувшись;
- для защиты от угарного газа дышите через увлажненную ткань;

- при возгорании одежды ложитесь на землю и, перекатываясь, сбейте пламя;

- увидев человека в горящей одежде, набросьте на него пальто, плащ или какое-нибудь покрывало и плотно прижмите его;

- на место ожогов следует наложить чистые повязки и отправить пострадавшего в медпункт;

- при тушении пожара используйте огнетушители, пожарные краны, а также воду, песок, землю, покрывало и другие средства.

Порядок тушения пожара:

1. огнетушащие вещества направляйте в места наиболее интенсивного горения и не на пламя, а на горящую поверхность;

2. если горит вертикальная поверхность, воду подавайте в верхнюю ее часть;

3. в задымленном помещении применяйте распыленную струю, что способствует осаждению дыма и снижению температуры горения;

4. горючие жидкости тушите пенообразующими составами, засыпайте песком или землей, а также накрывайте небольшие очаги покрывалом, одеждой, брезентом и т.п.

5. при горении электропроводки сначала выверните пробки или выключите рубильник на электрощите, а затем приступайте к тушению; выходите из зоны пожара в наветренную сторону, т. е. откуда дует ветер

#### **7.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

При выполнении выпускной квалификационной работы был изучен ряд нормативных документов.

В основе работы лежат Федеральные законы: Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», Федеральный закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ «О пожарной безопасности», Федеральный закон от 21.12.1994 № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера», Федеральный закон от 12.02.1998 № 28-ФЗ «О гражданской обороне».

Требования к организации рабочего места регулируются Трудовым кодексом РФ, Санитарно-эпидемиологическими правилами и нормативами (СанПиН) и другими правовыми документами.

СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах» предъявляет требования к температуре и влажности воздуха, освещенности, офисного помещения. Так, если среднесуточная температура за окном выше 10 °С, в офисе должно быть по общему правилу 23–25 °С, а если ниже этой границы – 22–24 °С. Определено также, как сокращается рабочий день, если в помещении холоднее допустимого или наоборот, очень жарко. К примеру, если температура воздуха в офисе составляет 19 °С, то находиться в нем можно не более семи часов, а если 18 °С – не более шести часов и т. д. [62].

Отдельные нормы существуют для тех, кто использует в работе компьютеры. Они представлены в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». Площадь рабочего места таких сотрудников не может быть менее 4,5 кв. м (если установлен плоский монитор) или менее 6 кв. м (если рабочее место оборудовано монитором старого типа, с кинескопом). После каждого часа работы помещение следует проветривать. Также помещения для эксплуатации ПЭВМ должны иметь естественное и искусственное освещение [44].

## Список используемых источников

1. Пиролизные котлы отопления // ТеплоГуру URL: <http://teplo.guru/kotly/tverdotoplivnye/piroliznye-kotly-otopleniya.html> (дата обращения: 02.05.2018).
2. Fuzzy Logic Toolbox // Matlab.ru URL: <https://matlab.ru/products/fuzzy-logic-toolbox> (дата обращения: 02.06.2018).
3. Пиролизные котлы // ЭкоКотёл URL: <http://ecokotel.com.ua/index.php/fuel/pyrolysis.html> (дата обращения: 14.03.18).
4. Шилин А.А., Букреев В.Г., Койков К.И. Математическая модель нелинейной системы с запаздыванием // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2013. № 6. С. 3–10.
5. Шилин А.А., Букреев В.Г. Нелинейная математическая модель теплопотребления с учетом характеристик элементов теплового узла // Научный вестник НГТУ. 2012. № 2 (47). С. 107–114.
6. Пиролиз // Википедия URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Пиролиз> (дата обращения: 02.05.2018).
7. Пиролизный котёл // Википедия URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Пиролизный\\_котёл](https://ru.wikipedia.org/wiki/Пиролизный_котёл) (дата обращения: 02.05.2018).
8. История отопительных приборов // Помо URL: <http://www.pomo.ru/art/istorija-otopitelnyh-priborov/> (дата обращения: 04.05.18).
9. История камина // История вещей URL: <http://история-вещей.рф/predmetyi-interera/istoriya-kamina.html> (дата обращения: 05.05.2018).
10. Центральное отопление // Хэлпикс URL: <http://helpiks.org/8-90474.html> (дата обращения: 05.05.2018).
11. Современные системы отопления // Stoodbooks URL: [http://studbooks.net/1982492/matematika\\_himiya\\_fizika/sovremennye\\_sistemy\\_otopleniya](http://studbooks.net/1982492/matematika_himiya_fizika/sovremennye_sistemy_otopleniya) (дата обращения: 05.05.2018).
12. Доменная революция // klubkom URL: <http://klubkom.net/posts/61295> (дата обращения: 05.05.2018).

13. История котлов // Твердокотёл URL: <http://tverdo-kotel.com/istoriya/> (дата обращения: 05.05.2018).
14. Научно-технические открытия (конец XIX - начало XX ст.), их влияние на экономическое мировое развитие // Allbest URL: [https://revolution.allbest.ru/economy/00448848\\_0.html](https://revolution.allbest.ru/economy/00448848_0.html) (дата обращения: 05.05.2018).
15. Устройство и принцип действия циркуляционных насосов // Проект ТМН URL: <http://proekt-tmn.ru/ustrojstvo-i-princip-dejstviya-cirkulyacionnyx-nasosov/> (дата обращения: 05.05.2018).
16. Первый мировой энергетический кризис 1973 — 1974 годов // Cotinvestor URL: <http://www.cotinvestor.ru/obuchajushhie-materialy/jekonomicheskie-krizisy/pervyj-mirovoj-energeticheskij-krizis-1973-1974-godov/> (дата обращения: 05.05.2018).
17. Твердотопливные котлы длительного горения — полная классификация и советы по выбору модели // StoryAqua URL: [http://stroy-aqua.com/vodosnab\\_otopl/kotel/tverdotoplivnye-kotly-dlitelnogo-goreniya.html](http://stroy-aqua.com/vodosnab_otopl/kotel/tverdotoplivnye-kotly-dlitelnogo-goreniya.html) (дата обращения: 05.05.2018).
18. ГАЗОГЕНЕРАТОР. ПИРОЛИЗНЫЕ КОТЛЫ. // Газогенератор URL: <http://gazogenerator.com/oborudovanie/gazogenerator-piroliznye-kotly/> (дата обращения: 05.05.2018).
19. Принцип работы пиролизного твердотопливного котла длительного горения // Гидпроект URL: <http://gidproekt.com/princip-raboty-piroliznogo-tverdotoplivnogo-kotla-dlitelnogo-goreniya.html> (дата обращения: 05.05.2018).
20. Горение топлива // Топки URL: <http://topky.ru/fuel-burning.html> (дата обращения: 05.05.2018).
21. Расчет мощности и расхода дров // Самогрейка URL: <http://samogreyka.ru/raschet-moshhnosti.html> (дата обращения: 05.05.2018).
22. F.A.Q. О КОТЛАХ И ОТОПЛЕНИИ // ТеплоFAQ URL: <http://teplo-faq.net/katalog/78-encyclopedia/6092-tochka-rosy-kondensat> (дата обращения: 05.05.2018).

23. Газогенераторный котел своими руками // Своими руками URL: <https://svoimi-rykami.ru/stroitelstvo-doma/otoplenie/gazogeneratornyj-kotel-svoimi-rukami.html> (дата обращения: 05.05.2018).
24. Конев А. А. Принцип работы пиролизного твердотопливного котла длительного горения // GidProekt. - 2014. - №4.
25. Монтаж и подключение газогенераторного твердотопливного котла длительного горения // Гринология URL: <http://greenologia.ru/othody/utilizaciya-i-pererabotka/piroliz/montazh-kotla.html> (дата обращения: 07.05.18).
26. Зайцев А.М., Щекин И.И., Трубаев П.А. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСТАНОВКИ КОТЛА НА ДРЕВЕСНЫХ ПЕЛЛЕТАХ // VII МЕЖДУНАРОДНЫЙ МОЛОДЕЖНЫЙ ФОРУМ "ОБРАЗОВАНИЕ, НАУКА, ПРОИЗВОДСТВО" Белгород, 20-22 октября 2015 г.. - 2015. - №1.
27. Л. Ф. Илалетдинов Параметрическое моделирование сжигания древесного генераторного газа с помощью пакета прикладных программ FlowVision // ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ. - 2013. - №1 (21). - С. 23-28.
28. Иванов С.А., Василенко А.В., Звегинцева А.М. РАСШИРЕНИЕ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЭКЗОТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ДРЕСИСИНЫ // НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ АНАЛИЗА, АЛГЕБРЫ, ГЕОМЕТРИИ И МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ. - 2017. - №7-2. - С. 80-81.
29. П.А. Трубаев, В.И. Филатов, П.Н. Тарасюк, Б.М. Гришко Теплотехнические испытания пиролизного котла // ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ. - 2014. - С. 98-102.
30. Timo M.KorpelaTomas K.BjörkqvistPentti A.J.Lautala Control Strategy for Small-Scale Wood Chip Combustion // IFAC Proceedings Volumes. - 2009. - №Volume 42, Issue 9.
31. Stanislav Vrána, Viktor Plaček, Cyril Oswald, BohumilŠulc, PetrNeuman Neural Network Evaluation of Combustion Process for Continuous Control of Small Scale



Biomass Fired Boilers // IFAC Proceedings Volumes. - 2014. - №Volume 47, Issue 3. - С. 1440-1445.

32. Cyril Oswald, Viktor Plaček, Bohumil Šulc, Alexander Hošovský Transfer Issues of Control Optimizing Combustion from Small-scale to Medium-scale Biomass-fired Boilers // IFAC Proceedings Volumes. - 2012. - №Volume 45, Issue 21. - С. 207-211.

33. ШИЛИН, А.А. УПРОЩЕНИЕ МОДЕЛИ СЛОЖНОЙ ТЕПЛООБМЕННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РЕЛЕЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ [Электронный ресурс] / А.А. ШИЛИН, В.Г. БУКРЕЕВ. — Электрон. журн. — Москва: МАИК "Наука/Интерпериодика", 2014. — Режим доступа к журн.: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21803742>

34. Закон охлаждения Ньютона // math24 URL: <http://www.math24.ru/закон-охлаждения-ньютона.html> (дата обращения: 03.06.2018).

35. Ziegler J.G., Nichols N.B. Optimum settings for automatic controllers // Trans. ASME. 1942. Vol. 64. P. 7599768.

36. Лукас В.А. Теория автоматического управления. – М.: Недра, 1990.

37. СП 60.13330.2012 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003. Дата введения 2013-01-01.

38. СанПиН 2.1.2.1002-00 «Санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям»

39. ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях»

40. СанПиН 2.2.4.548 – 96 «Гигиенические требования к микроклимату помещений»

41. СанПиН 2.1.2.2645-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях»

42. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение»

43. Пульсации яркости: факты, механизмы и нормы // Geektimes URL: <https://geektimes.com/post/291803/> (дата обращения: 13.05.2018).

44. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы

45. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий
46. ТОИ Р-45-084-01 Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере (ПК, ПЭВМ)
47. Гигиеническое значение влажности воздуха // Медпортал URL: [http://медпортал.com/gigiena-sanepidkontrol\\_733/gigienicheskoe-znachenie-vlajnosti-56941.html](http://медпортал.com/gigiena-sanepidkontrol_733/gigienicheskoe-znachenie-vlajnosti-56941.html) (дата обращения: 13.05.2018).
48. Влияние освещенности на организм человека // ВгызСаха URL: <http://fguz-sakha.ru/portfolio-view/osveshenie> (дата обращения: 13.05.2018).
49. Мероприятия для улучшения естественного освещения в помещении // ОхранаБзд URL: <http://ohrana-bgd.narod.ru/opr1.html> (дата обращения: 13.05.2018).
50. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – М.: Энергия, 1981. – 590 с.
51. IT-экологичность // ichip URL: <https://ichip.ru/it-ekologichnost.html> (дата обращения: 13.05.2018).
52. Влияние компьютеров на здоровье человека. Как избежать проблем. // 79ропотребнадзор URL: <http://79.rospotrebnadzor.ru/fbuzeao/index.php/informatsiya-naseleniyu/zdorovyj-obraz-zhizni/244-vliyanie-kompyuterov-na-zdorove-cheloveka-kak-izbezhat-problem> (дата обращения: 13.05.2018).
53. Грязная и опасная сторона технологий // OCG URL: <https://www.osp.ru/pcworld/2013/06/13035804/> (дата обращения: 13.05.2018).
54. Окурки, бумага и другие отходы, вред которых мы недооцениваем // greenbelarus URL: <http://brest.greenbelarus.info/articles/09-12-2016/okurki-bumaga-i-drugie-othody-vred-kotoryh-my-nedoocenivaem> (дата обращения: 13.05.2018).
55. Как сократить выбросы парниковых газов // wikiHow URL: <https://ru.wikihow.com/сократить-выбросы-парниковых-газов> (дата обращения: 13.05.2018).
56. Утилизация отходов ПВХ // Пункты приема URL: <http://punkti-priema.ru/articles/utilizaciya-othodov-pvh> (дата обращения: 13.05.2018).

57. ГОСТ Р 22.0.02-94 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения основных понятий (с Изменением N 1)
58. Федеральный закон № 123-ФЗ от 22.07.2008 года «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (с изменениями на 29 июля 2017 года)
59. СП 4.13130.2013 Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям
60. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменением N 1)
61. СП 3.13130.2009 Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности
62. СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах»

## Приложение А

### The development and research of a control system for pyrolysis powered boilers

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Ж	Михайлёв Алексей Сергеевич		

Консультант отделения электроэнергетики и электротехники:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Образцов Константин Валентинович			

Консультант – лингвист отделения иностранных языков:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Соколова Эльвира Яковлевна			

## **1. Introduction**

Pyrolysis boiler is one of the types of solid fuel boilers. As fuel in a copper inexpensive wood is used, and the special organization of process of burning allows to receive some essential advantages in comparison with usual solid fuel boilers.

The relevance of the work is due to the rapid growth of energy prices (oil, gas and electricity), as well as the rapid growth of the construction of houses and cottages located away from the gas mains.

The heating system with pyrolysis boiler will be an appropriate solution for a country house, cottage, and bath and will be especially useful for woodworking enterprises, industrial premises where there is a lot of wood waste. In some cases, not only wood, but also industrial waste can be used as fuel for the boiler.

The main problem with this boiler consists in choosing the ratio of the flows of airflows in the generation and afterburning of the pyrolysis gases. When the ratio is chosen most correctly, in the chimney of the boiler remains a minimum of pyrolysis gases and oxygen, the output power is maximum. In modern pyrolysis boilers, this problem is gone, putting expensive gas sensors in the chimney.

To reduce the cost of the system, you can abandon such an expensive solution and use cheap temperature sensors to indirectly obtain the value of the output power by the boiler. By adjusting the ratio of airflow at the equilibrium point, and watching the power, you can find the most energy-efficient point of the pyrolysis boiler and develop a control algorithm. This is the practical novelty of the work.

The proposed solution is practically significant, as it will simplify the control system of pyrolysis boilers and thereby significantly reduce their cost, make them more accessible to the general public.

The object of the study is the control system of the pyrolysis combustion boiler.

The subject of the study is the combustion control algorithm without gas sensor in the reverse chimney.

The purpose of the work is to develop a control system based on expert assessments, choosing the optimal operating modes of the pyrolysis boiler with various load changes.

The objectives of the study are familiarity with the principle of the pyrolysis boiler, the development of a simulation model of the pyrolysis boiler, obtaining transient temperature, obtaining maps of expert estimates, the development of the algorithm, reducing the cost of the system.

On this topic on April 25, this year was presented a sectional report on the all-Russian scientific and practical conference entitled «Improving the efficiency of production and use of energy in Siberia». The report was awarded a diploma of the second degree.

## **2. Literature review**

### **2.1. History of the creation and elaboration of boilers**

Pyrolysis boiler, a boiler of long burning, was invented relatively recently, and in order to appear before us in the form which we know it, it took more than a dozen years.

The first heating systems, with the progenitors of solid fuel boilers-shoulders were created in Ancient Rome, for heating several houses used channels that ran in the floor and walls, these channels were exhaust gases from the furnaces. This type of heating is called “Hypocaustum”.

After some time, to replace Hypocaustum heating came from fireplaces. Part of the heat from the combustion of fuel was given to the environment, that is, to the room, while a huge part of the heat went into the exhaust pipe together with the exhaust gases. Later open fireplaces were transformed into closed fireplaces.

Due to the lack of wood, in 1763 Frederick the Great upgraded fireplaces. So there were "Berlin furnace" which have several chimneys. The use of such a chimney in tandem with coal has significantly improved the performance of boilers.

In the early XVIII century, Martin Crevald developing a centralized heating system-using steam.

At the end of the XVIII century in England, there were the first iron and metal furnaces.

In the middle of XIX century to pass a law on a steam boiler regulating the safe use of boilers.

At the beginning of the XX century, furnaces receive a rapid jump in development due to increased requirements for convenience.

In 1950 in heating systems with boilers circulation pumps start to be used, which significantly increases the performance of heating systems.

In 1973, the main energy crisis began. People begin to conduct active exploration of potential energy sources in heating systems. Thus, people come to the modern heating system using solid fuel boilers.

Only in 2000 in Vilnius, the designer Edmundas Shrupaitis patented a new combustion system, which has become the most advanced at the moment. Solid fuel boiler long combustion or pyrolysis boiler in another way, in which combustion of fuel and released pyrolysis gases from it occurs separately. At the same time, the fuel burns without a residue, and in the reverse chimney there is practically no exhaust gases.

## **2.2. The principle of operation of the pyrolysis boiler**

The device that allows to obtain gas by pyrolysis of wood fuel is called a gas-generating boiler. The chamber in which the fuel is located is called the reactor or in another way the fuel chamber.

First, the fuel is ignited with a small fire and the wood starts to burn as in a simple boiler, but when the temperature reaches 200...800°C, the oxygen supply to the combustion chamber decreases and then the process of pyrolysis of the fuel begins. In the process of pyrolysis, gas is released, which goes into the combustion chamber with a special pipe. The process of gas release is exothermic, that is, heat is released.

In the combustion chamber, the gas is mixed with a higher amount of oxygen and ignited, combustion occurs at a higher temperature and can reach 110 ... 1200°C. Flow control is carried out by means of a slide gate or valve.

Gas combustion is accompanied by a rapid release of heat, heat interacts with the heat exchanger, thereby heating the water passing through the heat exchanger, the combustion products of the fuel at the same time come out through the exhaust pipe.

According to the manufacturer, pyrolysis gasification boilers, the efficiency of these devices varies between 84 and 90%. It should be noted that the efficiency of the boiler depends significantly, on how wet the fuel is.

Below, for a better representation of the data shows the dependence of the power when burning a kilogram of firewood from their humidity:

When burning one kilogram of wood with a moisture content of 25% power is 4 kW;

When burning one kilogram of wood with a moisture content of 50% power is 2 kW;

Increased fuel moisture leads to a significant release of water in the form of steam, which is mixed with the combustible gas reduces its concentration, as a result, the combustion power drops significantly.

A distinctive feature of pyrolysis boilers is the interaction of volatile gases and their combustion products. Such interaction significantly clears the emission of heavy substances into the atmosphere.

The return water temperature entering the boiler must have a temperature of at least 50...60°C. If the temperature falls below the specified limits on the external equipment of the boiler condensate is released, which in turn leads to the appearance of condensate, this significantly reduces the durability of the equipment. The internal wall thickness of the boiler cannot be less than 4 mm.

### **2.3. The design of the gasification (pyrolysis) boilers**

At the moment, do a lot of gas-generating boilers of different designs, but the mechanism of action of these boilers is the same, the main components for boilers are the same everywhere.

Gas generator boiler consists of two main compartments:

1. Boot compartment (generating chamber);
2. Furnace compartment (afterburning chamber).



In the loading compartment is the process of decomposition of fuel into coke and volatile gas. In the combustion compartment is burning volatile component, which was released in the process of gas generation.

Depending on the location of the combustion compartment, distinguish boilers with:

- Lower combustion compartment;
- Upper combustion compartment.

Boilers with upper combustion compartment were widely used.

The main advantages and disadvantages of boilers with different types of combustion compartment (afterburning chamber) are given below.

Table 22 – Comparison of boilers with different type of afterburning chamber

<b>View of the furnace compartment</b>	<b>Advantages</b>	<b>Disadvantages</b>
Lower compartment	5. Convenient loading of fuel into the upper compartment 6. Smoke and combustion products are removed naturally 7. Does not consume electricity-no injection and circulation devices 8. The lower compartment is more optimal for firewood.	3. It is often necessary to clean the furnace and the afterburning chamber from the ash falling from above 4. The complexity of the regulation of traction as it depends on the height of the chimney and weather conditions.
Upper compartment	4. The pyrolysis gas rises into the chamber for afterburning in a natural way 5. Clean the boiler should be much less than boilers with a lower furnace. 6. The upper compartment is more optimal for coal.	3. High boiler cost 4. High cost of boiler installation

Gas-generating boilers depending on the type of exhaust pipe are divided into boilers with:

- natural thrust;
- forced traction.

Natural traction is obtained by a long (high) chimney. Forced traction is obtained by an external fan or smoke pump, which requires an external power supply. A boiler with a fan or a smoke exhauster is more efficient, but depends on the availability of electrical energy. With a short power interruption, this problem can be solved by installing an uninterruptible power supply. However, the cost of such a boiler will increase.

Next, you should consider the advantages and disadvantages of boilers with forced and natural thrust:

Table 23 – Comparison of boilers with forced and natural thrust

Type of thrust	Advantages	Disadvantages
Forced	6. Quickly warms up the combustion chamber and the entire heating system. 7. Accelerates the transition to the process of wood pyrolysis 8. The products of combustion do not stay in the pot, and come out immediately 9. Automatic regulation of the process of pyrolysis and combustion 10. Duration of work on one load is longer	2. Constant dependence on electricity
Natural	4. It is unpretentious in service. 5. More reliable in operation, not so often breaks 6. The cost is much lower than the boiler with forced thrust	3. It should be much more often clean the boiler 4. High cost of boiler installation

Gas-generating boilers of long burning having a complete set are equipped with a programmable controller, with the help of it the necessary heating mode is set. Automation of the combustion process is to regulate the operation of the circulation pump and the smoke pump.

Boiler housings are made of steel or cast iron. Cast iron boilers are more reliable and durable, because they burn and corrode much more slowly.

## 2.4. Advantages and disadvantages of pyrolysis boilers

### *Advantages:*

- additional thermal energy due to more complete combustion of fuel and increased combustion temperature. Conventional combustion produces much less heat than combustion of volatile gas. When burning volatile substances, less oxygen is used than when burning wood in a conventional boiler;
- when burning, there is almost no soot or it is formed in a very small amount. Pyrolysis furnaces due to the combustion of wood and other fuels form much less heavy substances and their components than conventional solid fuel gas-generating boilers;
- the fuel burns completely with virtually no residue, this means that the amount of ash will be in the form of a handful of dust;
- the value of efficiency reaches 90%;
- very long operation of the boiler, the time between the addition of wood is about 8...12 hours and is dependent on the ambient temperature, the size of the heated area, the size of the boiler;
- regulation of the output power by the boiler from 30 to 100%. The process of burning pyrolysis gas is much easier to automate than the process of burning wood or other fuel;
- some models of these boilers allow burning not only wood, but also rubber with polymer compounds;

### *Disadvantages:*

- some models depend on electricity, as the smoke pump or the fan of the pyrolysis boiler consumes electricity. To improve the reliability of the system at voltage failures used uninterruptible power supplies;
- large-size values of the occupied area by the boiler;
- increased demands on the humidity of the fuel;
- systems with gas-generating boilers are mainly single-circuit for heating of running water it is necessary to mount separate equipment;
- return water temperature should be 50...60 °C;

- small power control range;
- pyrolysis boilers have a higher cost (about 1,5...2 times higher than the cost of conventional boilers);

In fact, the purpose of this work is to approximate the cost of the pyrolysis boiler to the cost of conventional.

## **2.5. Experience of domestic researchers**

The subject of pyrolysis boilers is touched upon in several studies of Russian scientists. For example, in the article "Techno-economic assessment of the installation of the boiler on wood pellets" shows the economic rationale for the installation of a gas boiler. At the end of the article, the author concludes that the installation of a gas-generating boiler (with pellets) to replace the boiler using diesel fuel will pay off in less than a year. Replacement of the boiler on furnace fuel oil is expedient at automation of fuel supply in the boiler.

In the article, "Parametric modeling of the combustion of wood gas generator using the software package FlowVision" student at L. F. Bilaletdinov produces modeling combustion of pyrolysis gas through the software FlowVision. According to the results of the simulation, the student came to the fact that to obtain a stable and intense combustion of the gas, it is necessary to install an airflow diffuser aimed at post-combustion.

Ivanov S. A., Vasilenko A.V., Zvyagintsev A. M. offer in their article to reduce the disadvantages of pyrolysis boiler to a minimum, to regulate the combustion process, using an oxygen sensor in the reverse chimney. Depending on the amount of oxygen to change the air supply to generate and afterburning pyrolysis gases.

In the "Thermal performance testing of pyrolysis boiler" P. A. Trubaev, V. I. Filatov, P. N. Tarasyuk, B. M. Grishko propose to regulate the combustion efficiency of the boiler by controlling the temperature of the exhaust gases through the gate valve installed in the opposite chimney. As a result, it was proposed to install a thermocouple in the return chimney and not to allow the temperature of the gases to rise above 400 °C by adjusting the gate.

## **2.6. Experience of foreign researchers**

Foreign scientists in the study of gas-generating boilers have quite serious developments in publications with a worldwide reputation. For example, in the article «Control Strategy for Small-Scale Wood Chip Combustion» the authors presented a hierarchical concept for controlling the burning of wood chips. The main problem was the supply of air with compensation of temperature fluctuations in the supply of fuel. The main task was to control the primary and secondary airflow depending on the required power level and the amount of moisture in the fuel. The data obtained in the experiments show that the developed system is able to adapt to changing combustion conditions while maintaining low emissions.

Stanislav Vrána, Viktor Plaček, Cyril Oswald, Bohumil Šulc, Petr Neuman in his article "Neural Network Evaluation of Combustion Process For Continuous Control of Small Scale Biomass Fired Boilers" offer to evaluate the quality of fuel in real time on indirect parameters and, depending on this, to adapt the PID controller. There is a relationship between the consistency of the fuel and the heat produced by the combustion of this fuel. Since the chemical consistency of the used fuel is constant and the ratio of ash in the wood is insignificant, the parameter that is estimated by the developers is the ratio of water in the fuel. The use of an air control algorithm has confirmed its ability to achieve a minimum CO production, which makes it possible to reduce the cost of boiler development by eliminating some devices.

In the article «Transfer Issues of Control Optimizing Combustion from Small-scale to Medium-scale Biomass-fired Boilers», the authors propose to use two controllers in their boiler. The first controller controls the fuel supply to achieve the required boiler power, the second controller changes the air supply so that the return chimney contains a minimum of carbon monoxide. The minimum value of the primary controller regulator (which regulates the temperature of the outgoing heating water by means of fuel supply) is considered as a criterion of the maximum combustion efficiency. The main stages of optimal control are: 1) changing the frequency of the electric drive of the air supply, 2) waiting for the steady-state value, 3) evaluation of the current fuel consumption, 4) the decision on the change in the frequency of the drive.